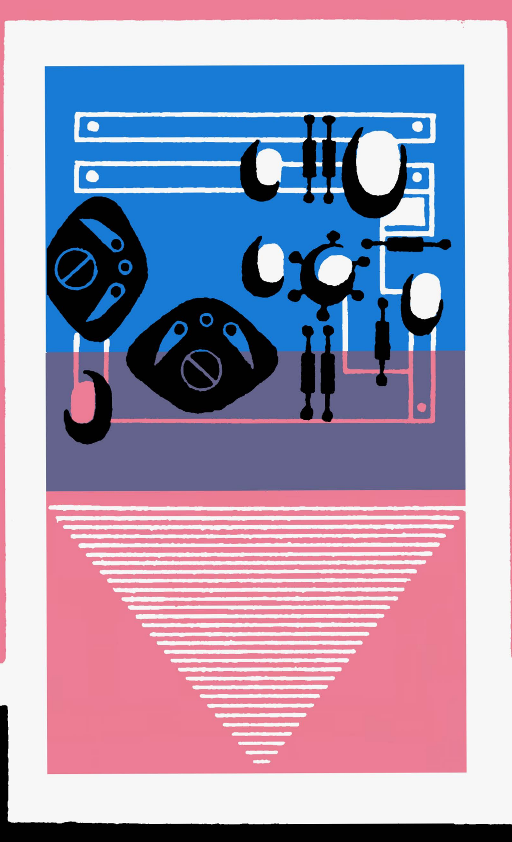




И. СВОБОДА

МОДУЛЬНЫЕ ТРАНЗИСТОРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ И ПРИЕМНИКИ

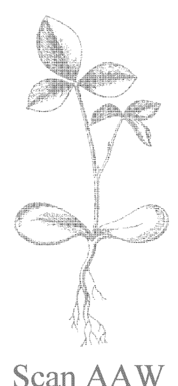
МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Выпуск 908

И. СВОБОДА

МОДУЛЬНЫЕ ТРАНЗИСТОРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ И ПРИЕМНИКИ

Перевод с чешского Карела Юнга





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1976

6Ф2.12
С25
УДК [621.396.62+621.375] : 621.382.3

Свобода И.

С25 Модульные транзисторные усилители и приемники. Пер. с чешского. М., «Энергия», 1976.

152 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 908).

В книге описаны модульные транзисторные усилители и приемники радиолюбительской аппаратуры звуковоспроизведения механической и магнитной записи и приема радиовещания.

Также приводится описание сменных модулей различного назначения, разработанных автором, которые помогут радиолюбителям создавать радиотехнические устройства различной сложности.

Книга поможет радиокружкам и радиолюбителям собрать современные качественные звуковоспроизводящие устройства.

$\frac{30403\text{-}268}{051(01)\text{-}76}$ 342-75 6Ф2.12

Svoboda J. Stavebnice tranzistorových zesilovačů a přijimačů. SNTL — Nakladatelstvi technické literatury. Praha, 1972.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Предлагаемая советскому читателю книга И. Свободы «Модульные транзисторные усилители и приемники» интересна в первую очередь тем, что в ней осуществлен профессиональный подход к радиолюбительской аппаратуре звуковоспроизведения механической и магнитной записи и приема радиовещания. Такой подход приводит к правильному построению усилительного тракта, целесообразному с точки зрения искажений, распределению усиления по каскадам, грамотному определению мест включения регуляторов громкости и цепей коррекции частотных характеристик.

С другой стороны, незначительные схемные усложнения позволяют получить существенное улучшение качественных характеристик радиолюбительской аппаратуры.

Разработанный автором ряд сменных модулей различного назначения подобно детскому «конструктору» позволяет в соответствии с квалификацией и возможностями радиолюбителя постепенно создавать различные по сложности радиотехнические устройства. От простого, но качественного в смысле звуковоспроизведения переносного радиоприемника до универсальной системы озвучения большого зала, включающей в себя микшерное устройство, ряд усилителей различной мощности, информационную линию и т. д.

Характеристики модулей, как правило, соответствуют характеристикам профессиональных устройств и в то же время могут быть легко воспроизведены радиолюбителями средней квалификации из имеющихся в продаже отечественных радиодеталей.

Некоторые подробности изложения, не представляющие интереса для советского читателя, сокращены.

Для использования отечественных деталей в примечаниях к книге дан ряд рекомендаций по отдельным устройствам.

Книга И. Свободы поможет радиолюбителям построить современные качественные звуковоспроизводящие устройства и радиокомплексы с электрическими характеристиками, соответствующими бытовой аппаратуре 1-го и высшего классов.

Е. Гумеля

ВВЕДЕНИЕ

Модульная система усилителей НЧ и приемников на транзисторах возникла из желания использовать схемные решения, принятые в профессиональной электроакустической аппаратуре в радиолюбительских условиях. Поэтому большинство схем были упрощены с учетом доступного ассортимента деталей. В значительной мере были использованы перспективные кремниевые транзисторы и разработаны два типа приемников, которые могут быть использованы в качестве источников сигналов. Хотелось бы, чтобы книга не была простым руководством по изготовлению указанных устройств, а пробуждала бы к творческой деятельности опытных радиолюбителей, для которых она предназначена. В книге приводятся несколько модульных систем, которые должны служить примером при создании радиолюбителем своих собственных конструкций.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ

1. ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ЭЛЕМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ПАРАМЕТРАМ

Развитие современных устройств электроакустики характеризуется все более широким внедрением блочной и модульной техники. Подобное явление наблюдается и в конструировании электронно-вычислительных машин. Чем же вызвано развитие таких систем?

Прежде всего экономическими соображениями. Большая серия универсальных усилителей одного типа значительно дешевле, чем небольшая серия узкоспециализированных усилителей, хотя затраты материалов на одно изделие у них ниже. Это происходит потому, что цена каждого изделия включает в себя издержки на разработку и подготовку производства, которые в небольших сериях составляют большую часть цены. Кроме того, модульное решение дает возможность получить большое число вариантов схем при одном и том же конструктивном исполнении механической части усилителя и межмодульном монтаже. Например, один из элементов усилителя может быть заменен другим без каких-либо затруднений простой заменой модуля. Если заранее выполнить продуманный ряд модулей с различными функциональными возможностями, то в дальнейшем разрабатывать новые типы модулей не придется. Любая сложная электроакустическая система будет легко выполнима из элементов такого ряда. Наоборот, при разработке новых модулей, связанной с прогрессом элементной базы и технологии производства, можно внедрять их в системы без изменения их конструктивных форм, которые в свою очередь в настоящее время достигли высокого уровня типизации и универсальности. Примером может служить универсальная система URS производства ZPA (Прага), которая нашла применение в измерительной технике, в системах автоматики регулирования и управления, в электронных вычислительных машинах, а также в устройствах электроакустики TESLA (Братислава).

Первая тогда еще блочная электроакустическая система, которую выпускала TESLA в 50-е годы, была, конечно, на лампах. Каждый блок имел свое сетевое питающее устройство, симметричный вход и выход, отделенный трансформатором, сигнал корректировался при напряжении 1,55 В на сопротивлении 200 Ом. В эту систему входили универсальный усилитель, линейный усилитель, предварительный усилитель для проигрывателя, два блока для магнитофона (запись и воспроизведение), усилитель с выходной мощностью 7 Вт и усилитель 25 Вт, а также оптический индикатор.

На международной выставке в Брюсселе была впервые представлена система SRK, еще на лампах, но уже имеющая признаки

миниатюризации. Большинство блоков-модулей, входящих в нее, не имело собственного питающего устройства и симметричных входов и выходов, так что трансформаторы включались только на входе и выходе устройства в целом. Отдельные блоки-модули представляли собой кассеты, которые помещались в гнездах блока. В эту систему входили следующие блоки-модули без источника питания: 3 вида универсальных усилителей, предварительный усилитель для проигрывателя, микрофонный усилитель, усилитель для воспроизведения магнитной ленты, корректирующий усилитель, фильтр-усилитель, усилитель с выходной мощностью 2 Вт и вспомогательные элементы — элементы управления, межмодульный монтаж, органы управления. Собственный источник питания имели только усилитель с выходной мощностью 10 Вт, индикаторный усилитель и переговорное устройство. В качестве универсального источника питания был использован один тип примерно для 10 блоков-модулей.

В 1965 г. была закончена разработка используемой в настоящее время модульной электроакустической системы, которая построена полностью на транзисторах. Ни один модуль не имеет собственного питающего устройства.

В настоящее время появляется новая электроакустическая система, созданная механическим набором таких модулей, которая называется универсальным блоком. Он имеет три варианта, отличающихся друг от друга используемым корректирующим усилителем. В этот блок входят предварительный усилитель (для микрофона), орган регулировки уровня и корректирующий усилитель или фильтр речи. Кроме того, из модулей разработанных для этих универсальных блоков (табл. 1), может быть составлена любая другая электроакустическая система.

Таблица 1

Транзисторные модули TESLA (Братислава)

Тип усилителя	Номинальное входное напряжение $U_{1н}$, мВ	Максимальное входное напряжение $U_{1\,макс}$, В	Входное сопротивление R_i, Ом	Наибольшее сопротивление источника сигнала $R_г$, Ом	Номинальное выходное напряжение $U_{2н}$, мВ	Максимальное выходное напряжение $U_{2\,макс}$, В	Выходное сопротивление $R_{вых}$, Ом	Оптимальное нагрузочное сопротивление $R_н$, Ом
EZV680	0,1	0,6	1 000	200	250	5	1000	60
	60	1,2	5 000	600	250	5	1000	60
EPR030	250	5	3 300	300	250	5	100	1000
EZP060	250	5	1 000	—	10	0,2	6000	260
EZL440	10	0,02	15 000	240	1550	3,1	40	200 (+50 нф)
EZW020	150	1,55	5 000	—	4480	6	0,6	10
ECF020	250	5	4 000	400	250	5	200	2700
EZK030	250	5	4 000	400	250	5	200	2700

В 1970 г. были разработаны модули для стереофонического магнитофона. В механической части устройства используется система блоков ZPA — URS.

Так как эта электроакустическая система построена на транзисторах, то некоторые параметры входящих в нее модулей были изменены. В ламповых устройствах уровень сигнала, подводимого к усилителю мощности, составлял 1,55 В. Однако это напряжение, удовлетворяющее ламповым усилителям, для транзисторных слишком велико. Оно должно соответствовать напряжению питания, опти-

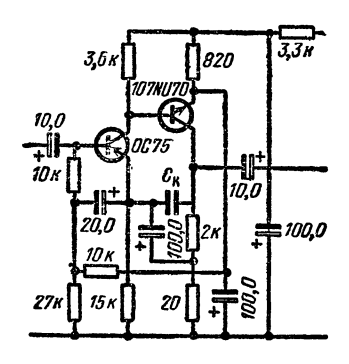


Рис. 1. Универсальный транзисторный усилитель TESLA.

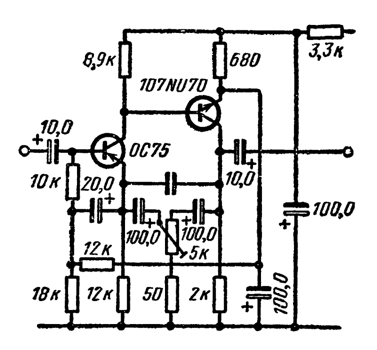


Рис. 2. Универсальный транзисторный усилитель TESLA с переменным усилением.

мальное значение которого для транзисторных усилителей 24 В. При этом максимальное выходное напряжение не может превысить 7 В из-за наступающего ограничения сигнала. Отсюда вытекает, что при уровне 1,55 В максимальный запас по линейности амплитудной характеристики 13 дБ, при необходимом около 20 дБ. В модульной системе TESLA он выбран 26 дБ, а в качестве межмодульного уровня принято напряжение 250 мВ.

Для того чтобы получить максимальное отношение сигнал/шум, необходимо иметь запас линейности у входных блоков, так как целесообразно размещать регуляторы усиления на входе системы.

Кроме того, необходим некоторый запас по усилению, поэтому входной усилитель должен усиливать напряжение сигнала без амплитудных искажений с учетом величины этого запаса.

Иногда принимается во внимание запас по уровню выходного напряжения, в этом случае входной усилитель налаживается при регуляторе уровня, установленном в положение —10 дБ÷—15 дБ. Это нужно учесть главным образом при работе от микрофона, а также везде, где входной уровень напряжения мал.

Входы и выходы устройства всегда менее подвержены наводкам помех, если они симметричны, без заземления средней точки. Поэтому входные и выходные модули часто имеют симметрирующие разделительные трансформаторы.

Чтобы получить более полное представление о концепции профессиональных усилителей, сравним схемы нескольких профессиональных блоков и некоторых бытовых магнитофонов.

Универсальные транзисторные усилители TESLA по схеме А. Шкрованка (рис. 1,2), усилитель воспроизведения В. Небеского (рис. 3, 4) и корректирующий усилитель TESLA EPR (рис. 5) имеют много общего. Схемы отличаются в основном лишь типом проводимости используемых транзисторов и в зависимости от требуемой нагрузки мощностью оконечного каскада. Одно у всех этих усилителей общее: это усилители с гальванической связью между отдель-

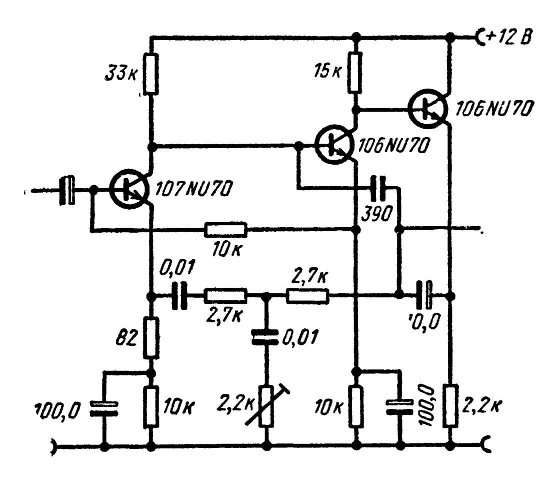


Рис. 3. Транзисторный усилитель воспроизведения для скорости 19 см/с (схема В. Небеского) — корректирующая часть.

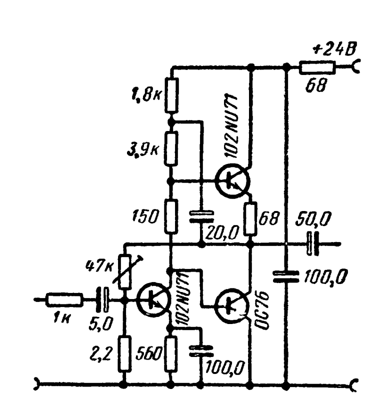


Рис. 4. Транзисторный линейный усилитель воспроизведения для скорости 19 см/с (схема В. Небеского).

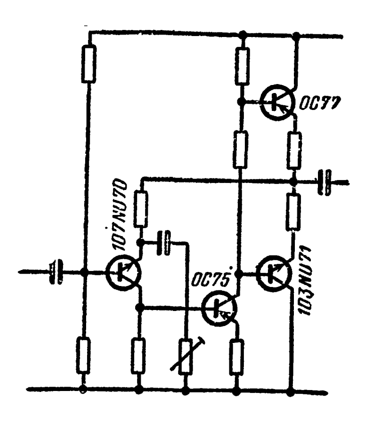


Рис. 5. Усилитель TESLA EPR030.

ными транзисторами, отделенные для переменного тока от источника сигнала и нагрузки конденсаторами. Способ включения обратной связи в основном также одинаков. Обратная связь подается с выхода усилителя на эмиттер первого транзистора. Многие другие усилители TESLA и зарубежных фирм имеют аналогичные схемы. Распространение кремниевых транзисторов не внесло значительных изменений в схемы усилителей, так что можно говорить об унификации схем усилителей напряжения, которые отличаются лишь типом проводимости транзисторов и значениями элементов схемы в зависимости от выбранных рабочих точек транзисторов и значения сопротивления нагрузки.

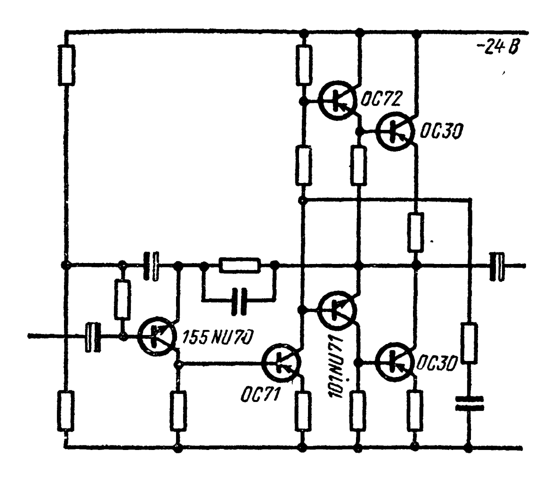


Рис. 6. Усилитель TESLA EJW020.

Из числа усилителей мощности сравним усилитель TESLA EJW 020 (рис. 6), усилитель магнитофона Telefunken (рис. 7) и магнитофона Philips (рис. 8). Эти два бытовых усилителя и один усилитель, используемый в электроакустических студиях, также почти не отличаются по своим схемам. Они также с гальванической связью между каскадами и отличаются только тем, что западные фирмы при создании этих усилителей имели возможность использовать в выходных каскадах комплементарные [1] транзисторы, которых у TESLA не было, поэтому в усилителях TESLA используются комплементарные транзисторы в предоконечном каскаде, а усилители мощности выполняются на транзисторах с одинаковым типом проводимости [2]. Нужно сказать, что в настоящее время используемые принципы уже как-то стабилизировались и усилители мощности отличаются друг от друга только проводимостью транзисторов

[1] Комплементарные транзисторы — транзисторы с одинаковыми параметрами, но различным типом проводимости. (*Прим. ред.*)

[2] Такое сочетание транзисторов называется квазикомплементарным. (*Прим. ред.*)

и использованием в оконечных каскадах комплементарных или квазикомплементарных транзисторов. Усилители с трансформаторами почти исчезли и используются лишь там, где усилители мощности питаются от источников с низким напряжением. Следующим доказательством типизации транзисторных усилителей является подобность усилителя напряжения TESLA EPR030 и усилителей мощности вышеуказанных магнитофонов.

Большое распространение получили транзисторные стабилизаторы и сглаживающие фильтры в сетевых питающих устройствах, об

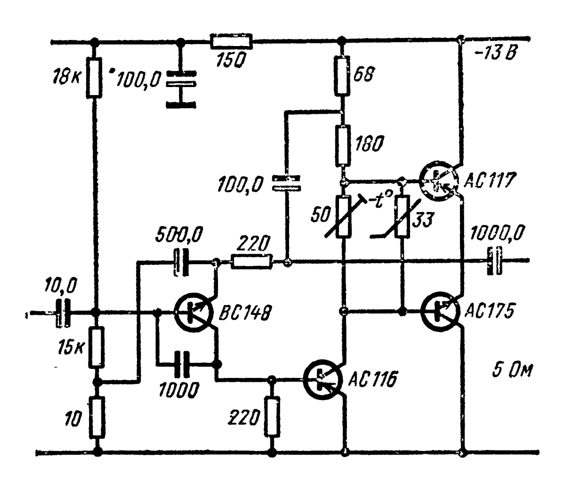


Рис. 7. Усилитель магнитофона Telefunken 201TS.

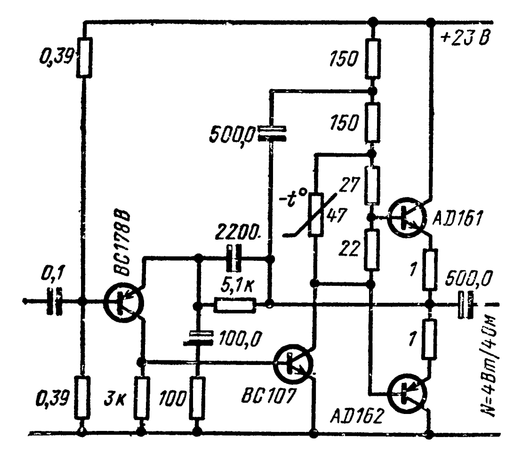


Рис. 8. Усилитель магнитофона Philips 4407.

этом свидетельствуют многочисленные литературные источники. И опять можно заметить большое сходство в схемах этих устройств. Приведем схемы двух стабилизаторов, которые отличаются не принципом, а схемой усилителя разности между напряжением на выходе и опорным напряжением. Кроме того, у них различные предохранители, общей чертой которых является то, что они срабатывают от напряжения, возникающего на резисторе, включенном последовательно в цепь питания при протекании через него потребляемого тока, превышающего нормальную величину. Это стабилизированный источ-

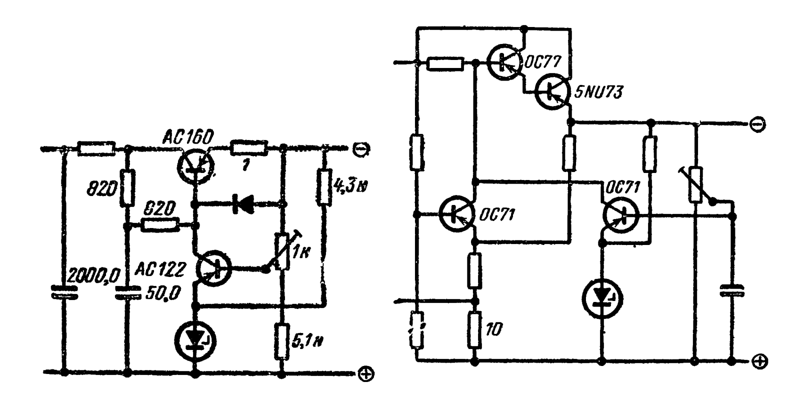


Рис. 9. Стабилизированный источник питания 24 В.

Рис. 10. Стабилизированный источник питания TESLA ENS050 (стабилизирующая часть).

ник питания, показанный на рис. 9, и стабилизированный источник питания TESLA ENS050, показанный на рис. 10 (вернее, его стабилизирующая часть). Оба стабилизатора используют в качестве источника опорного напряжения стабилитрон. Выходное напряжение регулируется включенным последовательно транзистором. В обоих случаях предохранитель срабатывает от напряжения на резисторе, включенном последовательно в цепь питания. В некоторых заграничных схемах транзистор, включенный последовательно, снабжается тиристором, управляемым при помощи последовательного резистора. В таком случае может быть применена меньшая площадь теплоотводящей пластины у мощного последовательного транзистора. Так как наиболее подходящие для этого типы транзисторов пока дефицитны, целесообразно использовать схему, которая уже прошла испытания и которая обладает свойствами, приближающимися к свойствам предохранителя в источнике питания профессионального типа ENS050. В этой схеме должны быть использованы транзисторы с большим коэффициентом усиления тока $h_{21э}$ (более 100). Можно отметить, что и схемы стабилизаторов находятся в такой стадии типизации, когда принципиально перестают отличаться бытовые изделия и изделия экстракласса. Различия имеются лишь в требованиях, предъявляемых к точности и стабильности параметров.

Предлагаемая в данной книге модульная система возникла на основе опыта работы автора с профессиональными модульными устройствами. Наличие в системе высокочастотных модулей для приема амплитудно- и частотно-модулированных вещательных радиостанций позволяет в комбинации с различными усилительными и вспомогательными модулями получить радиокомплекс с любыми параметрами.

Еще одним преимуществом предлагаемой системы является возможность постепенной модернизации устройства без больших переделок. Из модулей такой системы можно составить множество экспериментальных устройств, а в случае подключения модулей с помощью разъемов они могут быть использованы и в нескольких устройствах. При необходимости изготавливаемое устройство может быть расширено и дополнено. Однако эта возможность должна быть предусмотрена заранее и учтена при разработке системы питания и конструкции устройства в целом.

Окончательный выбор элементов модульной системы определился стремлением дать возможность радиолюбителям изготавливать их без использования сложного оборудования. Для упрощения механических работ необходимо использовать печатный монтаж, а для облегчения сборки и ремонта использовать разъемы, закрепленные на монтажной плате усилителя. Лишь в высокочастотных блоках нельзя рекомендовать подсоединение контуров настройки с помощью разъемов, что связано со стремлением обеспечить хорошую стабильность и малые взаимные емкости между отдельными контурами. В связи с постоянно меняющимся ассортиментом деталей целесообразно все органы управления усилителем разместить вне платы, что дает возможность использования потенциометров и переключателей любого типа. Параметры изготавливаемой системы должны выбираться в зависимости от возможности их реализации, это прежде всего относится к транзисторам. В данном случае был использован каталог TESLA 1969/1970 г.

Элементы модульной системы можно разделить на четыре основные группы: 1) усилители напряжения НЧ; 2) усилители мощности НЧ; 3) приемники; 4) вспомогательные устройства.

В первую группу были включены следующие усилители:

1) универсальный усилитель с возможностью регулировки усиления в цепи обратной связи и корректировки характеристики в соответствии с нормой *;

2) универсальный усилитель такого же типа, но дополненный независимой регулировкой уровня нижних и верхних частот, включенной в цепь обратной связи;

3) корректирующий усилитель для проигрывателя;

4) корректирующий усилитель воспроизведения для магнитофона;

5) усилитель, работающий на линии.

Во вторую группу входят:

1) усилитель с выходной мощностью 3 Вт;

2) усилитель с выходной мощностью 10 Вт;

---

* Здесь и далее под нормой подразумеваются требования к характеристикам различных устройств электроакустики (усилителей, электрофонов, магнитофонов, приемников), определяемые ЧГН (чехословацкая государственная норма), документами, аналогичными ГОСТ. (*Прим. ред.*)

3) усилитель с выходной мощностью 25 Вт.

Третью группу составляют:

1) приемник сигналов с амплитудной модуляцией (АМ);

2) приемник сигналов с частотной модуляцией (ЧМ).

Четвертая группа содержит вспомогательные модули:

1) стабилизатор для источника питания;

2) управляющее устройство автоматики.

Для каждой группы характерны определенные параметры. Модули выбраны так, чтобы в каждой группе был один пригодный для использования в простых устройствах и один, имеющий параметры на уровне профессиональных устройств.

Параметры первой группы. Универсальные усилители предназначены для усиления сигнала от микрофона и других источников сигналов. Они могут быть использованы для смешения сигналов от разных источников в микшерных устройствах. Их максимальное усиление не должно превышать 60 дБ. Предполагается возможность простой установки необходимого усиления с помощью цепи обратной связи и использование частотно-зависимой обратной связи. Оптимальное значение выходного напряжения с учетом запаса по линейности выбрано равным 250 мВ. Таким образом, эти модули предназначены прежде всего для работы на входе микшерных устройств.

Корректирующий усилитель для проигрывателя имеет специфические требования к частотной характеристике, поэтому он был выполнен в виде самостоятельного модуля и его выходное сопротивление, в отличие от остальных усилителей этой группы, невелико, что обеспечивается эмиттерным повторителем. Наиболее часто встречающийся случай (усилитель для проигрывателя с мощностью 3 Вт) лучше всего может быть реализован именно при помощи усилителя, на выходе которого имеется эмиттерный повторитель.

У усилителя для воспроизведения магнитной записи свои требования к параметрам. Прежде всего необходима частотная коррекция в соответствии с нормой записи, причем предполагаемый диапазон ее составляет 40 дБ. Чтобы обеспечить на низких частотах некоторый запас обратной связи, необходимый для получения искажений, меньших 1%, общее усиление усилителя без обратной связи должно быть около 90 дБ.

Для всех усилителей номинальный уровень выходного напряжения составляет 250 мВ, хотя они могут без искажений обеспечить напряжение до 2,5 В. Если для проигрывателя или магнитофона используется усилитель с частотно-независимой обратной связью, то может быть получено усиление свыше 60 дБ.

Усилитель, работающий на линию, предназначен для больших звукоусилительных комплексов в качестве разделительного усилителя, он должен питать линию с сопротивлением 200 Ом при напряжении 1,55 В с запасом в 6 дБ.

Параметры второй группы. Все требования, предъявляемые к усилителям мощности, могут быть удовлетворены при помощи трех типов усилителей с выходной мощностью 3 Вт, 10 Вт и 25 Вт. Универсальным типом в данном случае является усилитель с выходной мощностью 10 Вт, имеющий большое входное сопротивление и чувствительность лучшую, чем 250 мВ. Для переносных устройств в менее качественных устройствах достаточно трехваттного усилителя. Для его универсальности необходимо обеспечить входное сопротивление около 5 кОм. В высококачественных устройствах целе-

сообразно использовать усилитель 25 Вт, у которого имеется линейный вход с малым сопротивлением, что ограничивает возможность появления наводок.

У всех усилителей частотная характеристика лежит в диапазоне 40 Гц—15 кГц±1 дБ. Нелинейные искажения не должны превышать 1%.

Параметры третьей группы. Приемники АМ и ЧМ сигналов должны быть супергетеродинными, они предназначены в основном для качественного приема программ местных радиостанций и поэтому от них не требуется большой чувствительности. Приемники для дальнего приема имеют некоторые особенности, приводящие к сужению принимаемой полосы, поэтому они не подходят для Hi—Fi системы. Кроме того, интенсивность помех в городах так велика, что чувствительность даже наиболее качественных приемников не может быть использована в полной мере. Приемник ЧМ должен обеспечить прием стереофонического сигнала по системе FCC, используемой в ЧССР. В качестве дополнения к нему предлагается индикатор настройки. Для облегчения конструирования используется заводской блок настройки для АМ и готовый блок для настройки с УВЧ и смесителем для ЧМ; для тех, кто хочет использовать другие диапазоны или предполагает их расширить, приводится расчет контуров и их сопряжения.

Параметры четвертой группы. Стабилизированный источник питания должен быть таким, чтобы он мог обеспечить напряжение 24 В и потребляемый ток 1 А. Желательно, чтобы можно было получить и 12 В. Питающее устройство целесообразно разделить на две части: сетевую, т. е. силовой трансформатор, выпрямитель, фильтры и стабилизирующую часть. В этом случае трансформатор может быть размещен в таком месте, где не будет мешать его поле рассеяния. Схема стабилизации может быть смонтирована в любом месте. Так как в продаже нет подходящего силового трансформатора, его придется намотать в соответствии с приводимыми данными.

Выпрямитель должен быть двухполупериодным, что обеспечит наименьшие пульсации на выходе стабилизатора, что особенно важно для питания таких модулей, как, например, усилитель для микшерных устройств, имеющий высокую чувствительность со входа (до 0,2 мВ).

Изменение выходного напряжения под нагрузкой не должно быть больше ±1%, уровень пульсаций на выходе при токе 1 А не более 5 мВ, при холостом ходе 1 мВ. Оба эти значения приведены для выходного напряжения 24 В.

Управляющее устройство предназначено для автоматизированного просмотра диафильмов с помощью записанных на магнитную ленту управляющих импульсов. Оно должно преобразовывать низкочастотное напряжение порядка сотен милливольт в сигнал постоянного тока типа «да — нет», необходимый для включения и выключения реле, с помощью которого управляется диапроектор. Кроме того, оно может служить индикатором пилот-тона при приеме стереофонического радиовещания или наличия низкочастотного напряжения от любого источника сигнала.

2. ВЫБОР ТИПОВ ТРАНЗИСТОРОВ

Нужно сделать принципиальный выбор между использованием германиевых или кремниевых транзисторов *. Этот выбор в значительной мере зависит от наличия соответствующих транзисторов в продаже. Преимущества кремниевых транзисторов:

1) меньший обратный ток;

2) большая допустимая рабочая температура перехода, а следовательно, большая мощность рассеяния при одинаковом типоразмере корпуса с германиевым транзистором;

3) большее допустимое напряжение $U_{б\,к}$;

4) более высокая граничная частота, чем у сплавных или диффузионно-сплавных германиевых транзисторов, за счет планарно-эпитаксиальной технологии.

В связи с широким использованием пластмасс для корпусов транзисторов стоимость кремниевого транзистора приблизительно равна стоимости германиевого. Известные зарубежные фирмы поставляют в настоящее время транзисторы в корпусах из пластмасс за цены, не превышающие цены сплавных транзисторов.

Все вышесказанное позволяет сделать выбор в пользу использования в модульной системе кремниевых транзисторов. Рассмотрим, каков ассортимент полупроводниковых деталей в ЧССР и какова перспектива их развития. Воспользуемся для этой цели каталогом 1969—1970 гг., где приводятся и типы транзисторов, которые появятся в конце 1970 г.

Кремниевые низкочастотные транзисторы, мощность $P_к$ менее 1 Вт. В продаже имеются лишь транзисторы *n-p-n* КС507, КС508, КС509. Это транзисторы, предназначенные для входных каскадов, с малым уровнем шумов и достаточным усилением по току при токе коллектора порядка 10^{-4} А. Так как благодаря используемой технологии граничные частоты $f_т$ этих транзисторов достигают около 200 МГц, то они весьма универсальны. Их только нельзя использовать в усилителях с АРУ. В низкочастотных усилителях они могут найти применение во всех каскадах. В качестве входного лучше всего использовать транзистор КС509. Эти транзисторы полностью эквивалентны серии ВС107—ВС109.

Кремниевые высокочастотные транзисторы. Можно предложить транзисторы *n-p-n* KF507 и KF508 и *p-n-p* KF517, последний из которых поставляется рассортированным на группы А, В и С в зависимости от усиления по току. Этот транзистор комплементарен транзистору KF507. В связи со значительным допустимым рассеянием мощности на коллекторе этот транзистор целесообразно использовать в предоконечных и других каскадах усилителей НЧ.

Кремниевые мощные транзисторы. В настоящее время в продаже имеются лишь транзисторы серии KU, параметры которых не дают возможности рекомендовать их для использования в усилителях мощности НЧ. Они в основном предназначены для использования в переключающих схемах. В случае использования их в УНЧ схемы усилителей получаются значительно сложнее и нужно выбирать больший ток покоя транзистора, а значит, и большие размеры радиаторов.

---

* Здесь и далее см. примечания редактора к с. 15 и т. д.

Усилители мощности на транзисторах серии KU не достигают качественных показателей усилителей на германиевых мощных транзисторах.

Кремниевые низкочастотные транзисторы. В продаже должна появиться серия транзисторов *n-p-n* в корпусах из пластмассы KC147, KC148 и KC149. Они эквивалентны серии KC507, KC508 и KC509; серии отличаются лишь исполнением корпуса и меньшей максимальной мощностью рассеяния (200 мВт). Можно предположить, что их цена не превысит цены германиевых сплавных транзисторов в металлическом корпусе.

Кремниевые высокочастотные транзисторы. Должны появиться транзисторы KF524 и KF525 в металлическом корпусе и их прямые эквиваленты KF124 и KF125 в корпусах из пластмассы. Это высокочастотные транзисторы, имеющие универсальное назначение, граничная частота ($f_т$) достигает 200 МГц, благодаря чему их можно рекомендовать для приемников с диапазоном до 100 МГц, используя в схемах УВЧ, гетеродинов, смесителей и, конечно, в усилителях промежуточной частоты. Кроме того, должен появиться транзистор KF167 (частота $f_т$ более 250 МГц) для использования в усилителях с АРУ и KF173 (частота $f_т$ более 400 МГц) для усилителей без АРУ. Оба транзистора в металлическом корпусе.

Кремниевые мощные транзисторы. В продаже должен появиться планарно-эпитаксиальный мощный транзистор KD601 с мощностью рассеяния 35 Вт и допустимым напряжением $U_{к\,б0}$ более 40 В. Он предназначен для устройств автоматики или УНЧ. Так как его

Таблица 2

Кремниевые высокочастотные транзисторы

Тип	$I_{к.б\,0}$ при $U_{к.б}$		$h_{21э}$ при $\|h_{21э}\|$	$U_{к.б}$, В	$I_э$, мА	f, МГц	Предельные значения			
	мкА	В					$U_{к.б}$, В	$I_{к.макс}$, мА	$P_к$, мВт	$f_т$, МГц
KF506	0,01	60	35—125 >2	10 10	10 50	30	75	500	800	100
KF507	0,5	30	35 >1,65	10 10	10 50	30	40	500	800	100
KF508	0,01	60	90—300 >2,3	10 10	10 50	30	75	500	800	120
KF517	0,5	30	35	10	10		40	600	800	90
KF524	0,1	10	75—750 >3	10	1	100	30	30	145	—
KF525	0,1	10	34—140 >2,2	10	1	100	30	30	145	—
KF167	0,3	30	>25	—	—		40	25	130	350
KF173	0,1	30	>40	—	—		40	25	260	550

граничная частота $f_т$ более 10 МГц, то его можно использовать в усилителях мощности с частотным диапазоном до 100 кГц. Кроме того, будет выпущена пара транзисторов в одном корпусе, включенных по схеме Darlington, обозначенная KD610, с $P_к=35$ Вт и со значительно бо́льшим входным сопротивлением, чем у транзистора KD601. Оба транзистора KD601 и KD610 типа *n-p-n*.

Так как ассортимент кремниевых транзисторов недостаточно широк, чтобы удовлетворить все требования, предъявляемые к ним модульной системой, то в некоторых модулях были использованы германиевые транзисторы, однако так, чтобы с появлением соответствующих кремниевых транзисторов была возможна замена, причем это можно будет сделать без изменений на печатной плате, достаточно будет изменить значения некоторых элементов.

Типы транзисторов, необходимые для модульной системы. В таких системах используются низкочастотный транзистор с низким уровнем шума для входных каскадов и усилителей напряжения, транзисторы KC507, KC508 и KC509, а также низкочастотные комплементарные пары небольшой мощности, например предварительный усилитель мощности для усилителя значительной мощности или усилителя небольшой мощности. Этим требованиям отвечает комплементарная пара KF507 и KF517.

Используются низкочастотные комплементарные пары с $P_к=$ $=1$ Вт. Из-за недостатка кремниевых транзисторов используется пара GC510K и GC520K. Применение радиаторов обеспечивает хорошее охлаждение транзисторов, а значит, и их хорошее использование по мощности. Можно было бы использовать и пару кремниевых

Таблица 3

Германиевые высокочастотные транзисторы

Тип	$I_{к.бо}$ при $U_{к.б}$		$h_{21э}$ при $\|h_{21э}\|$	$U_{к.б}$, В	$I_э$, мА	f, МГц	Предельные значения			
	мкА	В					$U_{к.б}$, В	$I_{к.макс}$, мА	$P_к$, мВт	$f_т$, МГц
GF514	8	6	140	6	1	1	32	10	60	90
			>2,5	6	1	30				
GF515	8	6	140	6	1	1	32	10	60	60
			>1,5	6	1	30				
GF516	8	6	140	6	1	1	32	10	60	60
			>1,5	6	1	30				
OC170	13	6	100	6	1	1	20	10	50	50
			>1	6	1	30				
GF505	10	12	25	12	1	1	24	10	60	—
			>1,3	12	1	200				
GF506	10	12	10	12	1	1	24	10	60	—
			>1,1	12	1	200				
GF507	8	20	11	12	1,5		20	10	60	—
			>2,5	12	1,5	100				

транзисторов, но из-за худшего охлаждения нельзя рассчитывать на такую большую мощность рассеяния на коллекторе.

Используется низкочастотная комплементарная пара с $P_к=4$ Вт.

Были использованы германиевые транзисторы GD607 и GD617, для которых по плану TESLA в ближайшее время не предвидится эквивалент среди кремниевых транзисторов.

Используется также низкочастотный мощный транзистор для оконечных каскадов с мощностью $P_к=25$ Вт.

Таблица 4

Кремниевые и германиевые низкочастотные транзисторы

Тип	$I_{к.б0}$ при $U_{к.б}$, мкА	$I_{к.б0}$ при $U_{к.б}$, В	$h_{21э}$ при $\|h_{21э}\|$	$U_{к.б}$, В	$I_э$, мА	f, МГц	Предельные значения: $U_{к.б}$, В	Предельные значения: $I_{к.макс}$, А	Предельные значения: $P_к$, Вт	Предельные значения: $f_т$, МГц
KC507	0,015	45	285	5	2		45	0,1	0,3	150
			>1,5	5	10	100				
KC508	0,015	20	285	5	2		20	0,1	0,3	150
			>1,5	5	10	100				
KC509	0,015	20	500	5	2		20	0,1	0,3	150
			>1,5	5	10	100				
GC510K	10	—10	60—175	0	300		32	1	1	1
			>2	2	10	0,5				
GC511K	15	—10	100—500	0	300		32	1	1	1
			>2	2	10	0,5				
GC520K	35	10	60—175	0	300		32	1	1	1
			>2	2	10	0,5				
GC521K	35	10	100—500	0	300		25	1	1	1
			>2	2	10	0,5				
GD607	35	10	60—175	0	300		32	1	4	1
			>2	2	10	0,5				
GD608	35	10	100—500	0	300		25	1	4	1
			>2	2	10	0,5				
GD617	35	—10	60—170	0	300		32	1	4	1
			>2	2	10	0,5				
GD618	35	—10	100—500	0	300		25	1	4	1
			>2	2	10	0,5				
GC518	10	6	75—150	6	1		32	0,13	0,125	0,7
			>1	6	10	0,3				
KD601	1000	6	>1	6	100	10	40	10	35	
3NU74	1000	—6	50—130	0	1000		50	15	50	0,15

Здесь придется применить заграничные транзисторы, например SFT214, а лучше AD132, 2N1073B и т. д. Из чехословацких мог бы быть использован, но с более низким значением граничной частоты, только транзистор 3NU74. Может быть использован транзистор KD601, но нужно учесть тот факт, что это транзистор *n-p-n*, т. е. должна быть изменена полярность питания и электролитических конденсаторов.

Из **высокочастотных транзисторов** используются транзисторы KF506, KF507, KF508 или KF517, для диапазона УКВ свыше 100 МГц мезатранзисторы GF505, GF506, GF507. В случае необходимости могут быть использованы и транзисторы *n-p-n* GF514, GF515, GF516 или OC170.

В будущем можно будет использовать транзисторы KC147, KC148, KC149, KF524, KF525, KF124, KF125 типа *n-p-n*.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Так как интегральные схемы весьма перспективны, ознакомимся с некоторыми типами, выпускаемыми TESLA (Рожнов), которые могли бы найти применение в модульной системе. Причина их появления лежит в стремлении к миниатюризации и снижению себестоимости полупроводников; так как стоимость корпуса и монтажа в нем составляет значительную часть стоимости транзистора, выгодно поместить в один корпус несколько транзисторных систем. Дополнив их необходимыми резисторами, получим элемент, имеющий действительно минимальные размеры — интегральную схему. Из изделий, выпускаемых TESLA, для наших целей пригодны следующие типы интегральных схем: MAA125, MAA145, MAA225, MAA245, MAA325 и MAA435. Их цены в настоящее время вполне приемлемы, три отдельных транзистора стоят дороже, чем интегральная схема. Невыгодно лишь то, что почти все из них предназначены для низкого напряжения питания (7 В), только типы MAA145 и MAA245 могут работать при напряжении 12 В.

Интегральные схемы TESLA можно использовать в следующих цепях:

MAA125, MAA145 — в качестве второго каскада УПЧ в УКВ приемнике;

MAA225, MAA245 — в качестве второго каскада УПЧ в УКВ приемнике или как предварительный усилитель проигрывателя;

MAA325 — как однокаскадный усилитель с линейной частотной характеристикой и с возможностью регулировки усиления между первым каскадом и последующим двухкаскадным корректирующим усилителем (подобно использованию классических элементов в магнитофонах серии B4);

MAA435 — как универсальный усилитель с возможностью коррекции характеристики, как предварительный усилитель проигрывателя или усилитель воспроизведения магнитофона и т. п.

Полевые транзисторы найдут применение во входных усилителях там, где нужно большое входное сопротивление. Чаще всего они используются в измерительных приборах. В электроакустике они обычно используются в качестве предварительных усилителей в конденсаторных микрофонах. В приемникам они нашли применение в некоторых блоках настройки УКВ. Однако надо сказать, что KF520

(изделие TESLA) нельзя рекомендовать для использования в рассматриваемой модульной системе из-за его небольшой крутизны характеристики и значительного уровня шумов.

Интегральные схемы и полевые транзисторы могут быть выгодно использованы лишь при наличии соответствующих радиодеталей, таких, например, как конденсаторы с выводами с одной стороны, панельки для интегральных схем, имеющие на площади $^1/_4$ $см^2$ до 8 выводов; миниатюрные и надежные переключатели, потенциометры и электролитические конденсаторы для цепей питания. Использование интегральных схем предполагает качественный скачок всей базы радиодеталей.

За рубежом в этой области достигнут такой уровень развития, что можно, например, создать радиоприемник, используя одну интегральную схему и несколько навесных элементов, главным образом контуров настройки, без каких-либо других полупроводников; при этом удается достичь низкочастотной мощности примерно несколько ватт. Размеры такого приемника определяются прежде всего размерами блока настройки.

4. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ

Органы управления, предназначенные для данной модульной системы, можно разделить на несколько категорий в зависимости от их применения. В принципе каждый регулятор может иметь плавное или скачкообразное (с помощью переключателя) изменение сопротивления.

1. Регуляторы усиления служат для установки необходимого усиления в зависимости от типа и мощности источника сигнала. Так как эти элементы нежелательно использовать для регулировки во время эксплуатации, то они могут быть ступенчатыми с довольно грубыми скачками устанавливаемого усиления. Наилучшим размещением их с точки зрения работы модулей является цепь обратной связи, и лишь в случае, когда входной сигнал достигает значения, недопустимого с точки зрения искажений во входном усилителе, для регулировки усиления можно использовать делитель напряжения на его входе. Но использование входного делителя напряжения сопровождается ухудшением отношения сигнал/шум на величину затухания в нем входного сигнала. Поэтому входной делитель напряжения следует использовать лишь в случаях, когда напряжение источника сигнала сравнимо с допустимым значением выходного напряжения предварительного усилителя. Используемый потенциометр или переключатель должен иметь безотказный контакт, ни в коем случае не рекомендуется использовать миниатюрные потенциометры серии TP180, TP181. Лучшими из доступных потенциометров являются TP280, TP281. Их конструкция обеспечивает хороший контакт.

Переключатель может быть любым из числа имеющих самоочищающиеся контакты.

2. Регуляторы громкости используются для установки громкости воспроизведения; в эту группу входят и регуляторы уровня сигнала, например при записи. Для этой цели наиболее подходит плавный регулятор, которым является потенциометр. Ступенчатый регулятор используется в том случае, если необходимо обеспечить абсолютное сопряжение уровней нескольких каналов. Такие регуляторы

довольно сложны, а число контактов чрезмерно велико. Максимально возможный скачок уровня (3 дБ) предполагает наличие переключателя с двадцатью положениями для регулятора с затуханием от 0 до 60 дБ; причем этот скачок не пригоден для бытовых устройств. Если же выбрать скачок 2 или 1 дБ, то число контактов значительно возрастет. Поэтому и в оборудовании, используемом в студиях, применяются переменные резисторы с плавным изменением сопротивления (потенциометры), в основном с линейным перемещением движка. Для наших целей могут быть использованы потенциометры типа ТР280 и ТР281, из зарубежных отличные свойства имеют потенциометры фирмы Preh (ФРГ), которые являются линейными в смысле перемещения движка. Идеальными регуляторами были бы потенциометры TESLA (Братислава) как типа PR151, так и EPR030. Регулятор PR151 имеет сопротивление около 30 кОм, он представляет собой Т-образное звено аттенюатора с постоянным входным и выходным сопротивлением. Для наших целей это был бы отличный регулятор, однако, к сожалению, для большинства радиолюбителей он недоступен. В последнее время появился регулятор, в котором линейное перемещение ручки управления преобразуется во вращательное, передаваемое потенциометру ТР280. Однако он выпускается малыми сериями, а его цена сравнительно высока. Зависимость сопротивления регулятора громкости от угла поворота должна быть показательной, соответствующей особенностям человеческого слуха. Регуляторы громкости в некоторых устройствах имеют физиологическую регулировку. Это значит, что отношение делителя в каждом положении зависит от частоты. С механической точки зрения такие регуляторы выполняются как компенсированные переключатели или потенциометры с несколькими выводами, к которым подключены *RC*-цепочки, корректирующие частотную характеристику. Физиологический регулятор может быть использован в устройствах воспроизведения, но не пригоден там, где требуется дальнейшая частотная коррекция сигнала например, запись на магнитную ленту. Так как передача музыки с качеством, обозначаемым Hi — Fi, требует значительной громкости (это связано с динамическим диапазоном записи), то для бытовых и профессиональных устройств нет необходимости использовать физиологический регулятор, он найдет применение там, где желательно иметь тихое прослушивание с хорошим качеством. Поэтому он чаще всего применяется в радиоприемниках и некоторых усилителях.

3. Корректоры — это элементы, используемые для изменения частотной характеристики канала передачи. Под этим понимается коррекция усиления по краям звукового спектра (корректор тембра на верхних и нижних частотах), срезание краев спектра (фильтр речи) и подъем части спектра в области средних частот. Если эти элементы должны быть использованы во время записи или воспроизведения сигнала, то конструкция их должна обеспечить непрерывное плавное или скачкообразное изменение с минимальной величиной скачка не более 2 дБ. Преимущество отдается плавным регуляторам, ступенчатые используются там, где нужно точное сопряжение двух каналов. В нашем же случае желательно иметь возможность отключения корректора, так как каждый корректор вносит в частотную характеристику некоторую неравномерность. Это решение используется и в студийных устройствах. Обычно необходим корректор тембра лишь на верхних и нижних частотах. Конструкция корректора тембра на верхних и нижних частотах может быть выполнена в двух вариантах.

Пассивный корректор работает обычно с потерей уровня около 20 дБ, поэтому за ним должен быть усилитель, компенсирующий затухание в корректоре. Нужно использовать потенциометры с логарифмической или экспоненциальной характеристикой. Если потенциометр корректора ступенчатый, то его необходимо сконструировать так, чтобы в одном из его положений частотная характеристика усилителя была ровной.

Активный корректор представляет собой один или даже два транзистора, имеет частотно-зависимую цепь обратной связи и, как правило, не вносит затухания. С точки зрения искажений более выгодно использовать активный корректор.

Оптимальным диапазоном коррекции можно считать 12 дБ. Бóльшие изменения в частотной характеристике устройств воспроизведения нецелесообразны и не нужны; устройства, вносящие коррекцию более 12 дБ, приводят к искажениям за счет ограничения. Плавные корректоры обычно имеют крутизну 6 дБ/октаву.

Радиодетали для корректоров выбираются стабильные, ни в коем случае нельзя использовать в частотно-зависимой цепочке электролитические или миниатюрные керамические конденсаторы, емкость которых в значительной степени зависит от температуры. Лучше всего подойдут трубчатые конденсаторы, в исполнении МР или полистирольные; у потенциометров должны быть стабильные контакты. Из чехословацких могут быть использованы потенциометры ТР280 или ТР281. В случае использования переключателя наиболее подходящим, с точки зрения удобства управления, был бы переключатель с линейным перемещением контакта; однако его пока нет в продаже. Их использует TESLA (Братислава) в устройствах для студий. Из доступных можно рекомендовать переключатели в стандартном исполнении. У миниатюрных переключателей контакты нестабильны, поэтому они являются источником треска и подобных неприятных явлений. Кроме того, их нельзя чистить, а значит, приходится часто заменять. В положении, соответствующем равномерной частотной характеристике, корректор должен иметь усиление 0 дБ, чтобы при его исключении не произошло изменения уровня сигнала в усилительном тракте. Это, конечно, относится к активному корректору и устройствам, позволяющим в широких пределах изменять форму частотной характеристики. Для данной модульной системы был предложен корректор как самостоятельная часть универсального усилителя II, так как именно в этой комбинации его можно максимально использовать. Особым видом корректора является так называемый фильтр шума. Это фильтр, подавляющий, начиная с выбранной частоты, высшие частоты с крутизной, большей 6 дБ/октаву, чаще всего 18 дБ/октаву, который используется при проигрывании старых грампластинок. Однако опыт показал, что срезание шума приносит всегда значительное ухудшение артикуляции, поэтому фильтр шума не стоит использовать при воспроизведении хороших записей. В большинстве случаев спектр шума имеет значительную составляющую и в области средних частот, которую нельзя отфильтровать.

5. ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СХЕМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ

Низкочастотные модули представляют собой усилители с непосредственной связью. При изменении напряжения питания может произойти значительное смещение рабочей точки усилителя, увеличение

искажений и уменьшение максимального выходного напряжения. Поэтому и при использовании номинального напряжения нужно учитывать разброс параметров транзисторов и индивидуально устанавливать рабочие точки при помощи звукового генератора и осциллографа. У всех блоков можно использовать более низкое напряжение питания, но это вызовет понижение выходного напряжения и мощности. Максимальное выходное напряжение составляет примерно четвертую часть напряжения питания. Это необходимо учесть при использовании более низкого напряжения питания. Батареи также используются лучше при более высоком напряжении питания. Напряжение более низкое, чем 12 В, применять нецелесообразно. Питание переносного транзисторного приемника от трех плоских батарей оказалось наиболее экономичным. Кроме того, качество воспроизведения этого приемника на низких частотах значительно выиграло. Эксперимент был произведен с приемником Т63, у которого заменили УНЧ, а режим каскадов ВЧ был установлен заменой двух резисторов. Пластмассовая передняя панель была заменена деревянной для лучшего качества звуковоспроизведения. Общая масса приемника после всех изменений уменьшилась на 150 г. УНЧ представляет собой бестрансформаторный усилитель, схема которого подобна схеме усилителя с выходной мощностью 10 Вт, но транзисторы были выбраны менее мощные. Выходная мощность составляла 1 Вт при искажениях, меньших 1%.

Следует учесть, что переделку каких-либо устройств с дополнением их предлагаемыми модулями целесообразно производить, только когда в них источник питания достаточной мощности, хотя и с напряжением, отличным от требуемого. Если в такие устройства добавляются только усилители напряжения, то достаточно при имеющемся напряжении питания установить рабочую точку при помощи осциллографа. При использовании некоторых мощных модулей необходимо изменить номиналы элементов схемы предоконечного усилителя и, конечно, произвести индивидуальную регулировку режимов. Не рекомендуется питать усилители мощности более низким напряжением, так как выходная мощность бестрансформаторного усилителя убывает пропорционально квадрату напряжения питания.

Вышеприведенные рассуждения справедливы для напряжения питания от 9 В до 24 В. При напряжении, меньшем 9 В, необходимо заменить целый ряд элементов, экспериментально или при помощи расчета определить новые значения сопротивлений резисторов в коллекторной и эмиттерной цепях и номиналы элементов, задающих и стабилизирующих рабочую точку.

Все усилители напряжения данной модульной системы способны работать при напряжении питания 12 или 24 В, без замены элементов схем, кроме одного резистора, который является частью фильтра питающего напряжения. Исключение составляет усилитель, работающий на линию, который при напряжении питания 12 В не мог бы обеспечить запас уровня в 6 дБ для выходного напряжения 1,55 В.

6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Технология изготовления печатных плат сокращает значительную часть механических работ, которые были необходимы при использовании старой «проводной» техники. Печатный монтаж позволил радиолюбителям приблизить свои конструкции по внешнему виду к фабричным изделиям. Самым выгодным путем перенесения монтаж-

ной схемы на печатную плату для любителей можно считать фотографический способ. Остальные способы приводят к значительно худшему внешнему виду монтажных плат и требуют больших затрат труда. Метод трафаретной печати, используемый промышленностью для изготовления нескольких схем, нерентабелен.

Учитывая возможности радиолюбителей, в настоящее время можно предложить два способа. Оба имеют один общий момент. Схема копируется на плату, покрытую светочувствительной эмульсией, при помощи источника света, содержащего ультрафиолетовые лучи. Для этой цели лучше всего использовать ртутную или кварцевую лампу. В самом крайнем случае можно воспользоваться и солнечным светом, но выдержка при этом должна быть значительно увеличена. Схема должна быть начерчена или сфотографирована в черно-белом изображении в масштабе 1 : 1. Копирование производится контактным путем.

Система Grafolit*. Этот способ наиболее доступен радиолюбителям. Набор содержит три раствора: светочувствительную эмульсию, проявитель и раствор для глубокого травления меди. Схема должна быть негативной, т. е. части, не подлежащие травлению, должны быть прозрачными. Для этого способа можно использовать схемы, изображенные на кальке тушью. Кроме того, схему можно получить и фотографическим путем: например, используя фотопленку Foma на полиэфирной основе.

Светочувствительная эмульсия наносится на центрифуге или кисточкой при слабом освещении. Эмульсия наносится на хорошо очищенную механически и обезжиренную плату. В центр платы, помещенной на центрифугу, наливается небольшое количество эмульсии, которая под влиянием вращения равномерно растекается по всей поверхности. Если центрифуга снабжена подогревом, то плату можно высушить прямо на ней. Эмульсию можно нанести и кисточкой, с помощью которой создается тонкий равномерный слой. Затем плату оставляют сушить в горизонтальном положении в темноте. Для лучшего нанесения эмульсию можно разбавить водой, но не более чем в отношении 1 : 3 (вода : эмульсия). На сухую эмульсию с помощью ультрафиолетовых лучей копируется схема. На расстоянии 50 см от кварцевой лампы выдержка равна примерно 5 мин. При правильной выдержке схема слегка видна, засвеченные места более темные. Затем плата помещается в сухую ванночку и протирается тампоном, смоченным в проявителе. В течение 5 мин незасвеченные места должны раствориться. Если этого не произойдет, значит время выдержки было выбрано неправильно.

Просмотрев схемы на плате и убедившись, что все в порядке, можно начинать травление. При обнаружении ошибок нужно смыть эмульсию водой и нанести ее снова. Тщательность исполнения приносит отличные результаты. Раствор для глубокого травления меди представляет собой насыщенный раствор хлорного железа с примесями. Оптимальная температура раствора 30—40° С. Плата помещается в сухую ванночку, наливается тонкий слой раствора и протирается тампоном. Через несколько минут открытые части платы вытравливаются. Протирание тампоном необходимо для получения четких контуров, кроме того, оно ускоряет травление и экономит раствор.

Перед окончанием травления необходимо проверить плату на свету, не остались ли где кусочки меди, после чего она переносится в теплую воду, где смывается эмульсия. Плату следует слегка проте-

реть шлифовальной шкуркой, высушить и покрыть специальным лаком для печатных схем или раствором канифоли в спирте. Платы, полученные таким способом, не отличаются от фабричных. При этом нужны лишь несложные приспособления. Этот способ лучше также, чем нанесение схемы специальным лаком.

Светочувствительные платы не стоит долго хранить. Наилучший результат получается при наличии свежеподготовленной и хорошо просушенной платы.

7. РАЗЪЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Основным требованием, предъявляемым к разъему в модульной системе, является универсальность. Число контактов и их исполнение должно быть таково, чтобы для всех блоков мог быть использован один тип разъема. Для печатного монтажа существует множество

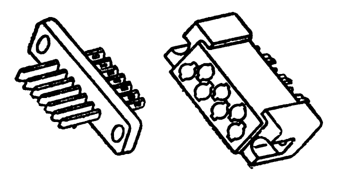


Рис. 11. Семиштырьковый разъем (штепсель и розетка).

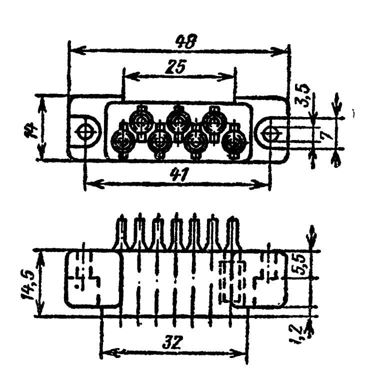


Рис. 12. Штепсель 1D446601.

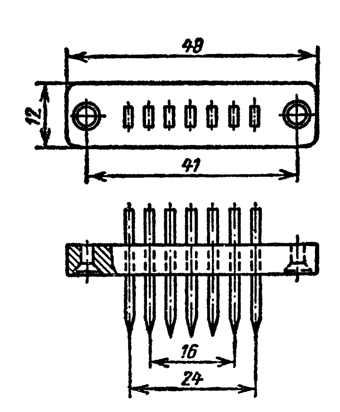


Рис. 13. Ножевой разъем 1D446300.

типов разъемов, в некоторых из них, например, контакты нанесены прямо на печатную плату.

В описываемой модульной системе был использован разъем TESLA, нашедший широкое применение в измерительной технике, технике связи и автоматике; его же использует TESLA (Братислава) в блоках электроакустической аппаратуры. Известно, что это один из самых надежных разъемов, используемых в профессиональных устройствах чехословацкого производства.

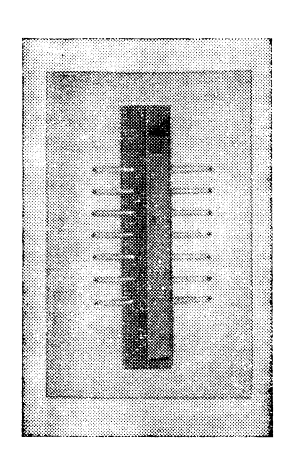


Рис. 14. Семиштырьковый разъем, использованный в модульной системе.

Для наших целей достаточно семи контактов (рис. 11). Поэтому может быть использован разъем 1D446300 (штепсель), показанный на рис. 13, и 1D446601 (розетка), показанный на рис. 12. У некоторых разъемов контакты посеребрены или даже позолочены. Контакты розетки типа Tuchel во всех исполнениях посеребрены. В случае необходимости контакты можно легко вынуть из бакелитового тела разъема (рис. 14).

Штепсель напаивается непосредственно на печатную плату. Опыт показал, что это достаточно надежный способ, если же имеются опасения, что штепсель отломится, бакелитовую часть можно приклеить к плате с помощью эпоксидной смолы. Несколько десятков усилителей с такими разъемами работают уже больше двух лет. Несмотря на то что они регулярно вынимаются для контроля, а разъемы были только припаяны, ни одного случая механических повреждений не было.

ГЛАВА ВТОРАЯ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ I

8. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	24 или 12
Габариты, см	7,5×7,5×4
Максимальное усиление, дБ	60
Максимальное выходное напряжение, В .	2,5
Номинальное выходное напряжение, мВ .	250
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	50
Запас по линейности, дБ . . .	20
Минимальное входное напряжение для отношения сигнал/шум 46 дБ, мВ	0,1 на 200 Ом
Максимальное входное напряжение, мВ . .	25
Регулировка усиления, дБ	40
Частотная характеристика Гц	30—16 000 (—1 дБ)
Нелинейные искажения, %	Меньше 1

9. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Универсальный усилитель I* (рис. 15) является усилителем с линейной частотной характеристикой, предназначенным для усиления сигнала от микрофона или другого частотно-независимого источника

сигнала. Его усиление можно регулировать в диапазоне до 40 дБ потенциометром в цепи обратной связи или установить постоянным при помощи резистора на плате усилителя. Транзисторы T_1 и T_2 представляют собой усилитель с непосредственной связью. Так как ток коллектора транзистора T_1 равен приблизительно 0,1 мА, то тем самым выполнены основные условия для достижения малого уровня собственного шума усилителя, необходимого при использовании усилителя с динамическим микрофоном.

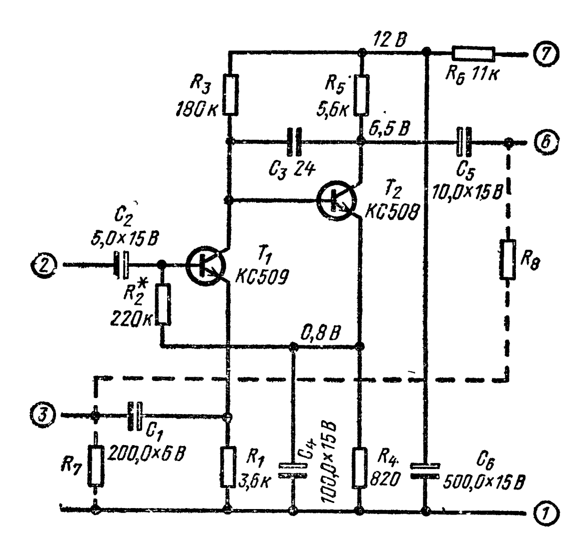


Рис. 15. Универсальный усилитель I — принципиальная схема.

Рабочая точка пары устанавливается резистором R_2 (220—680 кОм), сопротивление которого зависит от усиления по току используемых транзисторов. Резистор R_6 и конденсатор C_6 составляют фильтр для нежелательных связей, которые могут возникнуть через подводящие провода. Если усилитель питается от источника 12 В, то необходимость в R_6 отпадает. Конденсатор C_3 ограничивает усиление на сверхзвуковых частотах и препятствует самовозбуждению усилителя на частотах около сотен килогерц. Его значение должно быть таковым, чтобы он оказывал влияние, начиная с частоты 25 кГц.

Обратная связь может быть выполнена двумя способами. Для обеспечения постоянного заданного коэффициента усиления она осуществляется при помощи резисторов R_7 и R_8, которые могут быть размещены на плате усилителя.

Для обеспечения регулировки усиления в цепи обратной связи можно воспользоваться выводами *3* и *6*, к которым подключается внешняя цепь регулировки.

Ток, протекающий через транзистор T_2, выбран равным 2 мА, что позволяет получить достаточное напряжение для цепей ОС при минимальном усилении усилителя. Для достижения максимального

выходного напряжения напряжение на резисторе R_5 должно быть равно напряжению между эмиттером и коллектором транзистора T_2.

В случае необходимости частотной коррекции между выводами 3 и 6 может быть включена частотно-зависимая цепь обратной связи, обеспечивающая требуемую зависимость усиления от частоты. Она не должна уменьшать усиление более чем на 26 дБ, чтобы сохранить достаточный запас обратной связи для получения коэффициента гармоник менее 1%.

10. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

Усилитель собран на печатной плате с габаритами 7,5×7,5 см (рис. 16). Печатная схема выполнена так, чтобы ее можно было использовать как с разъемом, так и с припаянными выводами (см. рис. П-1).

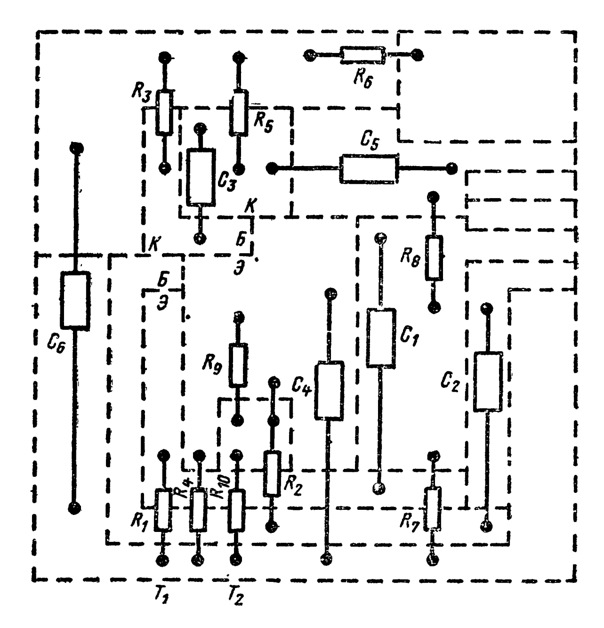


Рис. 16. Универсальный усилитель I — размещение элементов.

Способ ее изготовления описан в главе о печатных платах. Транзисторы выбираются по обратному току $I_{к.э0}$. У первого транзистора этот ток должен быть как можно меньше, а второй должен характеризоваться в первую очередь большим коэффициентом усиления тока $h_{21э}$, его обратный ток не имеет существенного значения, если он лежит в заданных изготовителем пределах. Для этого усилителя пригодны транзисторы KC509, KC508 или заграничные транзисторы BC109, BC108 и им подобные кремниевые транзисторы, предназначенные для предварительных усилителей НЧ.

Все элементы перед сборкой схемы должны быть проверены, прежде всего транзисторы и электролитические конденсаторы. Эта предосторожность избавит от трудоемких поисков неисправности в готовом усилителе, которая может быть вызвана плохой радиодеталью. Непосредственно перед пайкой нужно очистить выводы резисторов и конденсаторов и залудить выводы транзисторов. Этим значительно сокращается время пайки схемы, а ее внешний вид будет не хуже фабричного. Выводы транзистора рекомендуется держать пинцетом, который отводит тепло паяльника, предотвращая нежелательный перегрев транзистора.

11. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

Для установки рабочей точки резистор R_2 нужно заменить переменным. Установив максимальное значение сопротивления, подсоединим усилитель через миллиамперметр к источнику питания, лучше всего к батарее. Проверим, не превышает ли потребляемый ток 5 мА. Если ток больше, то это вызвано скорей всего неисправным электролитическим конденсатором C_6 или транзистором T_2. В таком случае усилитель немедленно отключают от источника питания и оба элемента проверяют. Если ток лежит в пределах 1—5 мА, то усилитель можно считать хорошим и продолжить установку его рабочей точки. Измерения производятся после полного заряда конденсатора C_6.

Рабочая точка усилителя устанавливается резистором R_2. Ее индивидуальная подгонка необходима для достижения максимального выходного напряжения, а значит, и максимального запаса по линейности амплитудной характеристики усилителя. Лучше всего это делать с помощью осциллографа. Если его нет, то подгонку можно осуществить по напряжению на коллекторе и эмиттере второго транзистора.

Настройка при помощи осциллографа. Ко входу усилителя подключается звуковой генератор, настроенный на частоту 1 кГц. К выходу усилителя подключается осциллограф. Входное напряжение повышается до тех пор, пока не появится ограничение одной полуволны сигнала. Переменным резистором 0,68 МОм рабочую точку устанавливают так, чтобы начало ограничения при одном и том же входном напряжении для обеих полуволн происходило одновременно. По размеру изображения неограниченного сигнала и чувствительности осциллографа можно одновременно контролировать максимальное выходное напряжение и частотную характеристику усилителя. При изменении частоты генератора высота изображения не должна изменяться более чем на 10% при постоянном входном напряжении. Если характеристики усилителя соответствуют заданным техническим данным, то его можно считать налаженным. Измерив сопротивление переменного резистора, его заменяют постоянным резистором с тем же сопротивлением. На время измерений целесообразно при помощи внешней обратной связи установить усиление 40 дБ, при большей чувствительности усилителя возникают осложнения с заземлением приборов и экранированием усилителя из-за возможных наводок переменного тока промышленной частоты.

Налаживание при помощи вольтметра. Для налаживания усилителя может быть использован вольтметр, внутреннее сопротивление которого более 10 кОм/В, в этом случае он не будет оказывать заметного влияния на измеряемое напряжение. Для измерения напря-

жения на коллекторе T_1 можно использовать только электронный вольтметр, но это измерение не является обязательным. Измеряются напряжения в точках, обозначенных на рис. 14; изменяя сопротивление переменного резистора, стремятся получить напряжения, соответствующие указанным на том же рисунке. Это прежде всего напряжения на коллекторе и эмиттере транзистора T_2 и напряжение на конденсаторе C_6. И в этом случае целесообразно производить измерения с включенной внешней цепью ОС, обеспечивающей усиление 40 дБ. Это вызвано тем, что при отсутствии ОС наведенный фон переменного тока может быть настолько сильным, что вызовет смещение рабочей точки усилителя до такого значения, при котором не удастся получить максимальное значение выходного напряжения Поэтому желательно производить акустический контроль отсутствия наводок, для чего радиолюбитель может использовать приемник, имеющий гнезда для подключения проигрывателя. Если режимы транзисторов усилителя соответствуют напряжениям на рисунке с точностью хотя бы 10%, то усилитель можно считать налаженным, и, измерив сопротивление переменного резистора, следует заменить его постоянным резистором с этим же сопротивлением.

Измерение остальных параметров усилителя. Для измерения отношения сигнал/шум, нелинейных искажений, частотной характеристики, входного сопротивления и определения емкости конденсатора C_3 справедливы принципы, изложенные в общей части книги.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ II

12. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	24 или 12
Габариты, см	7,5×7,5×4
Максимальное усиление, дБ	60
Максимальное выходное напряжение, В	2,5
Номинальное выходное напряжение, мВ	250
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	50
Запас по линейности, дБ	20
Минимальное входное напряжение для отношения сигнал/шум 46 дБ, мВ	0,1 на 200 Ом
Максимальное входное напряжение, мВ	25
Регулировка усиления, дБ	40
Нелинейные искажения, %	Меньше 1
Частотная характеристика	Регулируется внешними цепями: нижние частоты ±18 дБ на 60 Гц, верхние частоты ±18 дБ на 15 кГц

13. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Универсальный усилитель II (рис. 17) представляет собой усилитель с линейной частотной характеристикой. Он предназначен для усиления сигнала от микрофона или других частотно-независимых источников сигнала, при работе с которыми нужно производить индивидуальную переменную коррекцию в зависимости от вида сигнала и т. д. Его усиление можно регулировать в диапазоне 40 дБ потенциометром в цепи ОС, что расширяет область его применения и на схемы с более высоким уровнем сигнала.

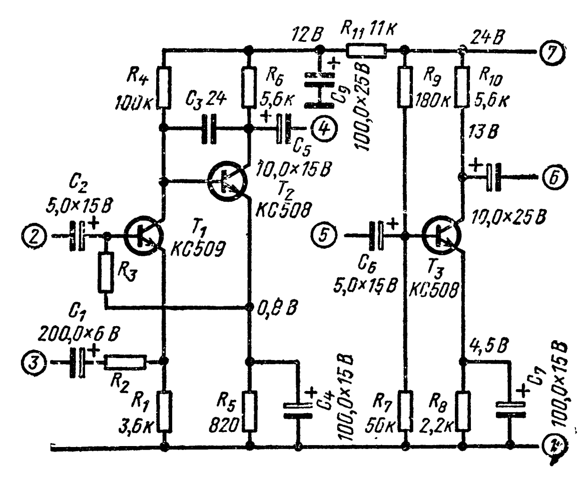


Рис. 17. Универсальный усилитель II — схема включения.

Транзисторы T_1 и T_2 составляют непосредственно связанную пару. Токи выбираются так же, как у универсального усилителя I. Рабочая точка пары транзисторов определяется значением сопротивления резистора R_3. Конденсатор C_3 предупреждает возможность самовозбуждения на сверхзвуковых частотах. Его емкость должна быть выбрана так, чтобы она оказывала влияние, начиная с частоты 25 кГц. Этот конденсатор образует цепь отрицательной обратной связи для сверхзвуковых частот, что является необходимым при использовании кремниевых транзисторов с высокой граничной частотой.

Цепь обратной связи может быть выполнена частотно-независимой и должна быть расположена вне платы усилителя. Для регулировки усиления используются выводы *3* и *4*. Транзистор T_3 выполняет функции усилителя и фазоинвертора корректора в цепи ОС, элементы которого размещены вне платы усилителя и подключаются к выводам *4*, *5* и *6*. Вывод *6* является также выходом для всего усилителя. Вывод *4* может быть использован для прослушивания сигнала до коррекции, если входное сопротивление канала прослушивания будет равно или более 100 кОм. Свойства корректора можно изменить, изменив параметры элементов, которые являются составной

частью корректирующего каскада на транзисторе T_3, расположенного в цепи ОС. Для использования в других целях (только не в качестве микрофонного усилителя) достаточно обеспечить подъем или завал краев полосы частот на ±12 дБ. Цепь может быть выполнена, как это рекомендовалось в гл. 1. Используемые потенциометры должны иметь линейную характеристику.

14. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

Печатная плата усилителя имеет размеры 7,5×7,5 см (рис. 18). Печатная плата выполнена так, что ее можно использовать как с разъемом, так и с припаянными выводами (см. рис. П-2). Способ изготовления печатной платы был описан выше. Транзисторы для усилителя рассортировываются по значению обратного тока $I_{к\,эо}$. У первого

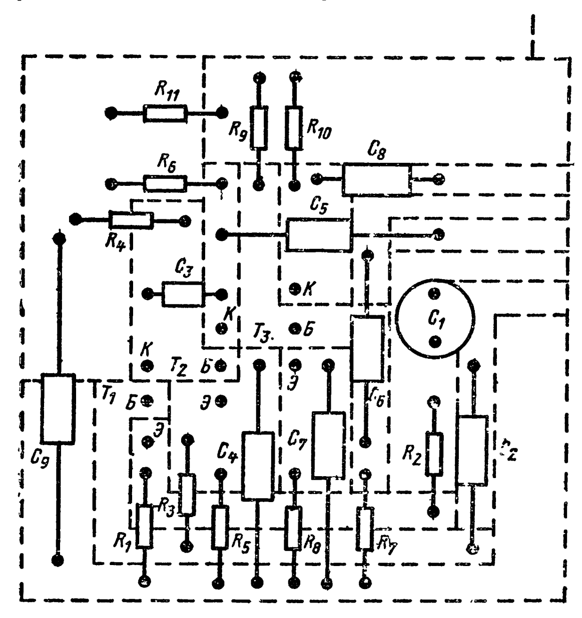


Рис. 18. Универсальный усилитель II — размещение элементов.

транзистора должен быть самый маленький обратный ток, а в качестве транзисторов T_2 и T_3 могут быть взяты любые, параметры которых лежат в пределах технических условий, приведенных в каталоге. Желательно, чтобы у T_2 был большой коэффициент усиления тока $h_{21э}$. Здесь могут быть использованы транзисторы КС509, КС508 или заграничные типы ВС108, ВС109 и т. д.

Все элементы перед сборкой схемы должны быть проверены, как это описано в § 10.

Корректирующая цепь, представляющая собой самостоятельный элемент, может быть размещена там, где это нужно; только при этом придется экранировать подводящие провода.

15. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

Для установки рабочей точки усилителя резистор R_3 заменяют переменным. Установив максимальное значение сопротивления R_3, усилитель подключают к источнику напряжения, лучше всего к батарее, и при помощи миллиамперметра контролируют потребляемый ток. Если ток не превышает 10 мА, то можно предположить, что усилитель в порядке, и приступать к его налаживанию.

Налаживание при помощи осциллографа. На вход пары транзисторов T_1 и T_2 присоединяется звуковой генератор (к выводам *1* и *2*), на выход (к выводам *4* и *1*) — осциллограф. Генератор настраивается на частоту 1 кГц. Входное напряжение повышается до тех пор, пока не получится ограничение одной полуволны сигнала. Рабочая точка с помощью потенциометра R_3 устанавливается так, чтобы начало ограничения наступало для обеих полуволн одновременно. По значению неограниченного сигнала и чувствительности осциллографа можно одновременно контролировать максимальное выходное напряжение и частотную характеристику усилителя. При проведении этого измерения целесообразно при помощи внешней цепи обратной связи (выводы *3* и *4*) установить усиление не более 40 дБ. Измерив сопротивление потенциометра, его заменяют резистором с таким же постоянным значением сопротивления.

Затем для контроля корректирующего усилителя генератор подсоединяется к его входу (выводы *5* и *1*), а к выводам *6* и *1* подсоединяется осциллограф и проверяется, ограничивает ли и этот усилитель обе полуволны синусоиды симметрично. Если нет, то нужно изменить рабочую точку транзистора T_3, меняя значение сопротивления резистора R_9, т. е. верхнюю часть делителя напряжения смещения базы

Налаживание при помощи вольтметра. Для этой цели может быть использован вольтметр с внутренним сопротивлением, большим 10 кОм/В, которым измеряются напряжения в точках, обозначенных на рис. 17. Меняя сопротивление переменного резистора 0,68 МОм, устанавливают коллекторное напряжение транзистора T_2. При этом измерении желательно иметь усиление равное 40 дБ, что достигается при помощи внешней цепи ОС. Если все режимы соответствуют показанным на рис 17 с точностью хотя бы 10%, то усилитель можно считать налаженным, остается только измерить сопротивление потенциометра и заменить его постоянным резистором. Измерение остальных параметров усилителя производится в соответствии с принципами, изложенными в общей части книги.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЛИНЕЙНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

16. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	24
Габариты, см	7,5×7,5×4
Максимальное усиление, дБ	32
Максимальное выходное напряжение, В	7
Номинальное выходное напряжение, В	1,55
Минимальное сопротивление нагрузки, Ом	50
Запас по линейности, дБ	12
Регулировка усиления, дБ . . .	26
Частотная характеристика, Гц . . .	30—16 000 (—1 дБ)
Нелинейные искажения, %	Меньше 1
Входное сопротивление	Зависит от регулировки усиления и больше 50 кОм

17. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Линейный усилитель* (рис. 19) — это усилитель с линейной частотной характеристикой, предназначенный для работы на линию для возбуждения нескольких оконечных усилителей больших электроакустических устройств, размещенных в непосредственной близости к акустическим агрегатам (звуковым колонкам). Как уже упоминалось, такой усилитель должен обеспечить выходное напряжение 1,55 В на нагрузке 200 Ом и запас по линейности около 6 дБ. Область применения линейного усилителя может быть довольно широкой, например, для компенсации затухания, возникшего при микшировании и т. д. Необходимое усиление можно установить при налаживании прямо на плате или использовать внешнюю цепь регулировки, которая может менять усиление в пределах 26 дБ. Транзисторы T_1—T_4 имеют непосредственную связь. Транзистор T_1 включен по схеме с общим эмиттером, транзистор T_2 тоже, он выполняет функцию предоконечного каскада для двухтактного каскада на комплементарных транзисторах T_3 и T_4, включенных по схеме с общим коллектором. Необычно включение транзистора T_1. Напряжение питания на него подается с выхода усилителя через резистор R_4. Через

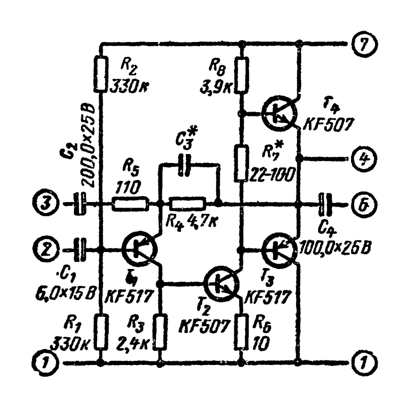


Рис. 19. Линейный усилитель — принципиальная схема.

этот же резистор вводится глубокая отрицательная обратная связь, охватывающая весь усилитель. Для переменной составляющей сигнала, кроме того, включена цепь R_5, C_2, которая может быть дополнена внешней цепью, например переменным резистором, усиливающим отрицательную обратную связь. Конденсатор C_3 осуществляет фазовую коррекцию, и его емкость зависит от частотных параметров используемых транзисторов

Оконечные транзисторы T_3 и T_4 работают как двухтактный каскад в режиме АВ. Их ток покоя определяется значением сопротивления резистора R_7, которое нужно подбирать индивидуально так, чтобы была обеспечена работа при минимальном токе в отсутствие сигнала и с минимальными искажениями при малых сигналах. Поэтому для охлаждения оконечных транзисторов могут использоваться только дисковые алюминиевые радиаторы, укрепленные на корпусах транзисторов. Резистор R_8 определяет ток предоконечного каскада, поэтому его сопротивление не должно изменяться во времени, так как оно одновременно предохраняет оконечные транзисторы от перегрузки. Симметричность всего усилителя определяется делителем R_1, R_2.

Необходимый коэффициент усиления можно установить при помощи резистора R_5, расположенного на печатной плате. Его сопротивление может лежать в пределах 110 Ом — 4,7 кОм. Выводы *3* и *1* разъема в этом случае соединяются вместе. Кроме того усиление можно регулировать в широком диапазоне при помощи внешнего потенциометра с сопротивлением 4,7 кОм, подключенного к точкам *3* и *1*. Этот усилитель может быть использован и как корректирующий, если к точкам *6*, *3* и *1* подключить внешнюю цепь частотно-зависимой обратной связи. Однако, надо сказать, что диапазон коррекции ограничен низким значением коэффициента усиления без обратной связи.

18. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

Усилитель собирается на печатной плате размером 7,5×7,5 см (рис. 20). Может быть использован разъем или припаянные выводы (см. рис. П-3).

Транзисторы выбираются в зависимости от их назначения. У транзистора T_1 должен быть как можно меньший обратный ток $I_{кэо}$ и малый коэффициент шума. У транзистора T_2 должен быть коэффициент усиления тока $h_{21э}$ не менее 50—100. Транзисторы T_3 и T_4 подбираются как пара, по обратному току и усилению по току при токе коллектора 1 и 10 мА и не должны отличаться больше чем на 15%. У данного усилителя необходим контроль допустимого максимального напряжения $U^*_{к\,э\,макс}$ между эмиттером и коллектором транзисторов T_3 и T_4. Усилитель может быть собран и на германиевых транзисторах без изменения схемы, но в выходную цепь должно быть включено сопротивление, предупреждающее перегрузку оконечных транзисторов, кроме того, нужно улучшить охлаждение транзисторов выходного каскада.

Электролитические конденсаторы перед монтажом должны быть проверены по отсутствию утечки, особенно это относится к конденсатору C_1. Так как сопротивление резистора R_1 довольно велико (330 кОм), то конденсатор C_1 должен иметь минимальную утечку, в противном случае может произойти смещение рабочей точки уси-

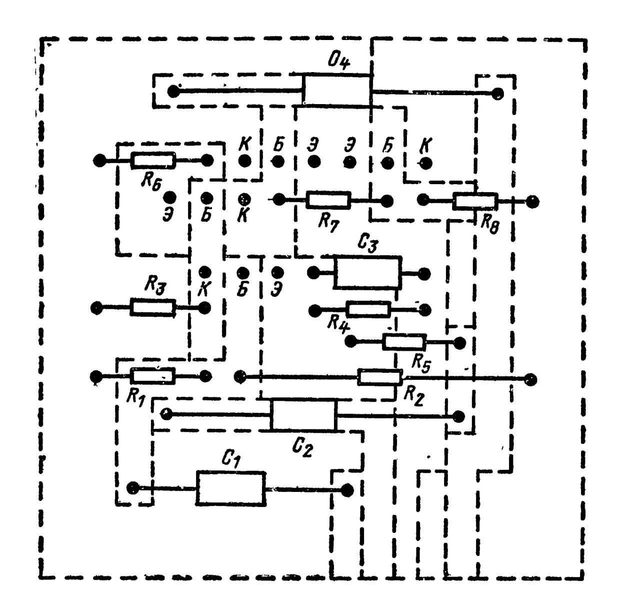


Рис. 20. Линейный усилитель — размещение элементов.

лителя. Транзисторы T_3 и T_4 перед монтажом должны быть снабжены дисковыми радиаторами, так как установка их после сборки схемы может привести к обрыву выводов транзисторов.

19. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

При налаживании усилителя используются осциллограф и звуковой генератор. Резистор R_7 заменяется потенциометром 100 Ом с установлением наименьшего сопротивления. После этого усилитель через миллиамперметр подключается к источнику напряжения 24 В. Если потребляемый ток меньше 10 мА, то измеряется напряжение постоянного тока в точке *4*. Оно должно быть равно 12±1 В. Если это так, то ко входу подключается генератор и точка *3* соединяется с точкой *1*. Выход напряжения переменного тока (вывод *6*) нагружается сопротивлением 200 Ом. На вход подается сигнал, частота которого равна 1 кГц, а параллельно сопротивлению 200 Ом подключается осциллограф. При входном напряжении 10 мВ на экране должно быть видно искажение сигнала в виде «ступеньки» — характерное для класса В. При использовании некоторых кремниевых транзисторов это явление может наблюдаться и при другом входном напряжении. Далее, увеличивая сопротивление резистора R_7, добиваются того, чтобы искажение, наблюдаемое на экране, исчезло. Отметив значение потребляемого тока, его следует увеличить на 10%. После этого измеряется сопротивление потенциометра (включенного вместо R_7) и

он заменяется постоянным резистором. Увеличив входное напряжение до 200 мВ, контролируют симметричность ограничения. Если симметрии нет, то изменяют сопротивление резистора R_3 или R_8. После этого еще раз проверяется, нет ли искажений при малых сигналах.

Тщательная наладка этого усилителя необходима потому, что слишком большое напряжение смещения оконечных транзисторов приводит к их нагреву и снижает к. п. д. усилителя. Кроме того, ток покоя нельзя отрегулировать другим способом, а искажения, которые возникают при малом токе, проявляются как раз при слабых сигналах, когда не может произойти их маскировка сигналом. Такие искажения акустически проявляются как хрип или дребезг при слабых сигналах и являются единственным видом искажений, которые можно точно определить по слуху. Однако для определения искажений, меньших 1%, необходимы приборы. Следующим измерением является проверка частотной характеристики усилителя в диапазоне 30—16 000 Гц. При постоянном входном напряжении напряжение на выходе не должно изменяться более чем на 1 дБ.

При эксплуатации этого усилителя желательно ограничивать его потребляемый ток на уровне 50 мА, что является эффективной защитой при закорачивании выходной линии. Измерение остальных параметров производится в соответствии с принципами, изложенными в общей части книги.

ГЛАВА ПЯТАЯ

УСИЛИТЕЛЬ С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 3 Вт

20. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	24
Габариты, см	7,5×7,5×4
Максимальная выходная мощность, Вт	3
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	12
Максимальное выходное напряжение, В	6,5
Максимальное входное напряжение, В	0,7
Частотная характеристика, Гц . . .	30—16 000 (—1 дБ)
Нелинейные искажения	Меньше 1% при значении мощности до 3 Вт на нагрузке 12 Ом
Входное сопротивление, кОм	Более 5
Напряжение питания, В	12
Максимальная выходная мощность, Вт	2
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	4
Максимальное выходное напряжение, В	3

Максимальное входное напряжение, В	0,35
Частотная характеристика, Гц . . .	30—16 000 (—1 дБ)
Нелинейные искажения	Меньше 1% при значении мощности до 2 Вт на нагрузке 4 Ом
Входное сопротивление, кОм . . .	Более 5

21. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Усилитель с выходной мощностью 3 Вт* (рис. 21) — это наименьший усилитель мощности этой серии. Он может питаться напряжением 12 или 24 В и предназначен для небольших приемников или переносных приборов, которые будут питаться от батарей. С напряжением 24 В он используется как усилитель предварительного прослушивания в микшерных устройствах и т. д

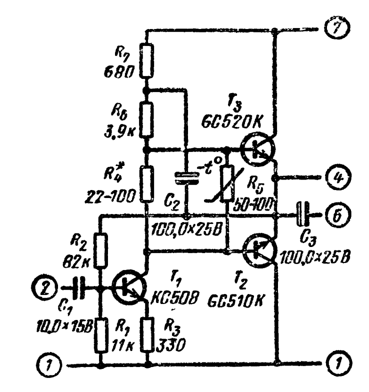


Рис. 21. Усилитель с выходной мощностью 3 Вт — принципиальная схема.

Транзисторы T_1, T_2 и T_3 имеют непосредственную связь. Транзистор T_1 работает в каскаде перед комплементарной парой T_2 и T_3. Этот каскад выполнен на кремниевом транзисторе, что обеспечивает тепловую стабильность. Оконечные транзисторы германиевые. Оба они размещены на алюминиевой теплоотводящей пластине 6,5×6,5 см толщиной 2 мм. К ней же изолированно прикреплен термистор R_5. Это сопротивление с отрицательным температурным коэффициентом.

Рабочая точка усилителя обеспечивается цепью отрицательной обратной связи по постоянному току с выхода усилителя на базу транзистора T_1. Одновременно эта связь действует и для переменного тока сигнала. Величина тока покоя определяется результирующим сопротивлением параллельно соединенных резистора R_4 и термистора R_5. Оконечные транзисторы включены по схеме с общим эмиттером, что является выгодным с точки зрения величины возбуждающего напряжения. Конденсатор C_2 обеспечивает подведение напряжения с выхода предоконечного каскада между базами и эмиттерами транзисторов T_2 и T_3 с резистора R_6. У усилителя имеются два выхода. К выводам *6* и *1* можно подключить громкоговоритель, а вывод *4* представляет собой выход сигнала постоянного тока и для присоединения к нему нагрузки нужен еще внешний электролитический конденсатор. Если усилитель питается от источника со средней точкой, то нагрузка может быть подключена между выводами *4* и *1*. Емкость внешнего электролитического конденсатора при напряжении питания 12 В и нагрузке 4 Ом должна быть около 1000 мкФ.

22. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

Усилитель собран на печатной плате 7,5×7,5 см (рис. 22—24). Схема такова, что она может быть использована как с разъемом, так и с припаянными выводами (см. рис. П-4). Комплементарные транзисто-

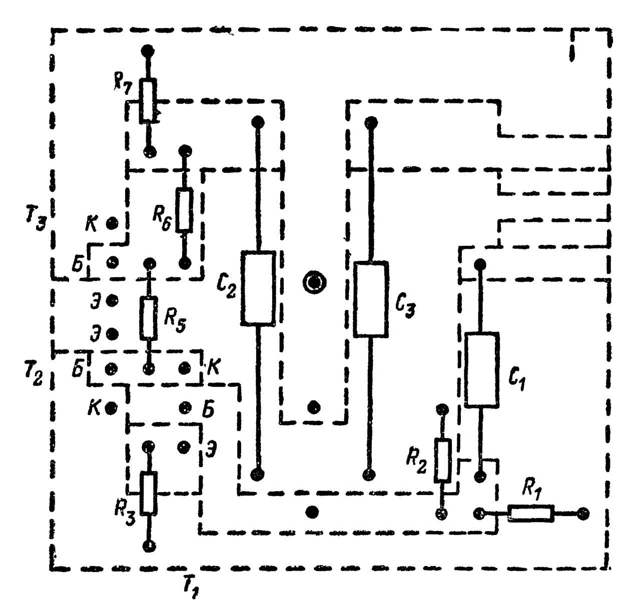


Рис. 22. Усилитель с выходной мощностью 3 Вт — размещение элементов.

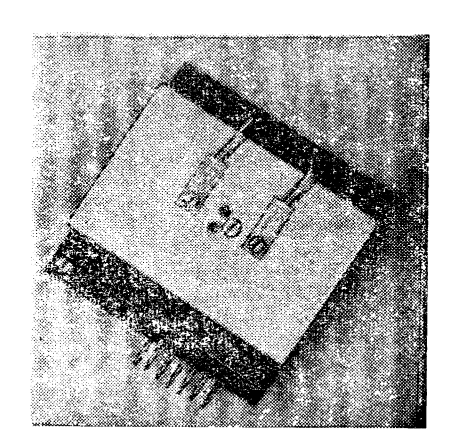


Рис. 23. Усилитель с выходной мощностью 3 Вт — вид со стороны теплоотводящей пластины.

ры нужно подбирать так, чтобы их обратный ток $I_{к.эо}$ и усиление тока $h_{21э}$ при токе коллектора 10 и 100 мА не отличались друг от друга больше чем на 15%. Кроме того, у транзисторов T_2 и T_3 проверяется максимальное допустимое напряжение ($U_{к.э.макс}$).

Все элементы перед монтажом проверяются. Ток утечки электролитических конденсаторов, который может вызвать затруднения при настройке рабочей точки, недопустим.

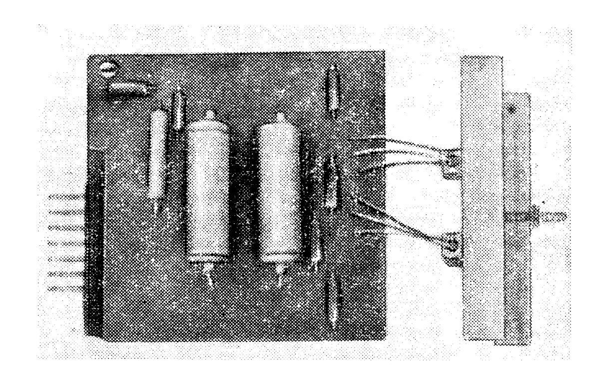


Рис. 24. Усилитель с выходной мощностью 3 Вт — вид со стороны деталей (без транзистора T_1).

Из алюминиевого листа толщиной 2 мм вырезается пластина (рис. 23), в ней (сверлом 3,2 мм) просверливаются отверстия под винты М3 и прикрепляются мощные транзисторы. Далее печатная плата заполняется необходимыми деталями и присоединяется разъем (если он будет использован). Наконец, припаиваются выводы оконечных транзисторов. Только после этого всю пластину-радиатор прикрепляют при помощи винтов М3 к печатной плате усилителя.

23. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

Резистор R_4 заменяется потенциометром с сопротивлением 100 Ом. Отрегулировав его на наименьшее значение, усилитель подключают через миллиамперметр к источнику питания. Если потребляемый от источника 24 В ток не превышает 10 мА, а от источника 12 В 6 мА, то все в порядке и можно измерять напряжение между выводами *4* и *1*. Если оно составляет приблизительно половину напряжения источника питания, то можно устанавливать рабочую точку усилителя. Для этой цели используется звуковой генератор и осциллограф. Оба эти прибора необходимы для достижения высокого к. п. д. усилителя, особенно при использовании батарей. На вход усилителя подается сигнал, частота которого равна 1 кГц, напряжение повышается до появления ограничения. Если ограничение не происходит одновременно у обеих полуволн сигнала, то нужно изменить сопротив-

ление резистора R_2 или R_6. После этого сигнал уменьшается до самого малого значения, которое можно еще регистрировать, и затем медленно увеличивается до появления на экране осциллографа искажений в виде ступеньки. Увеличивая сопротивление потенциометра 100 Ом (на месте резистора R_4), определяют момент, когда эти искажения исчезнут. Значение тока, соответствующего этому моменту, увеличивается на 10%. Измерив сопротивление потенциометра, заменяют его резистором с таким же сопротивлением. Если в схеме используется термистор R_5, то он должен быть подсоединен. Далее проверяется частотная характеристика усилителя. На вход подается напряжение 100 мВ, меняется частота и на выходе определяется при помощи милливольтметра или осциллографа (если имеется соответствующая калибровка) значение выходного напряжения. Отклонение не должно превышать 1 дБ. Измерение производится с подключенным сопротивлением нагрузки.

24. ЗАЩИТА УСИЛИТЕЛЯ

Усилитель не может быть подключен к нагрузке менее 12 Ом при напряжения питания 24 В и меньше 4 Ом при напряжении питания 12 В. Так как усилитель очень прост, то было бы нецелесообразно использовать электронный предохранитель; при тщательной наладке достаточен плавкий предохранитель. Главное, чтобы ток покоя усилителя был как можно меньше, его значение определяется искажениями малых сигналов. Максимальный ток, который способен обеспечить предоконечный каскад, не должен быть намного больше тока, необходимого для получения требуемой выходной мощности. Изменением сопротивления резисторов R_6 и R_7 можно произвести подгонку режима выходного каскада при использовании в нем любых транзисторов (по коэффициенту усиления тока $h_{21э}$). Если максимальный ток не может превысить значения, необходимого для максимальной раскачки оконечного каскада, то и при кратковременном коротком замыкании на выходе с его транзисторами ничего не может случиться.

Рекомендуемые предохранители: для питания 12 В 0,3 А; 24 В 0,2 А.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

УСИЛИТЕЛЬ С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 10 Вт

25. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	24
Габариты, см	7,5×7,5×6,5
Максимальная выходная мощность, Вт	10
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	4
Максимальное выходное напряжение, В	6,5

Максимальное входное напряжение, мВ	150 для полного возбуждения
Частотная характеристика, Гц . . .	30—16 000 (—1 дБ)
Нелинейные искажения	Менее 1% при мощности до 10 Вт на нагрузке 4 Ом
Входное сопротивление, кОм . . .	Более 50
Ток покоя, мА	Около 15
Пиковый ток, мА	600

26. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Усилитель с выходной мощностью 10 Вт (рис. 25) — это универсальный усилитель мощности, который может широко использоваться в различных системах. Для его питания необходимо напряжение

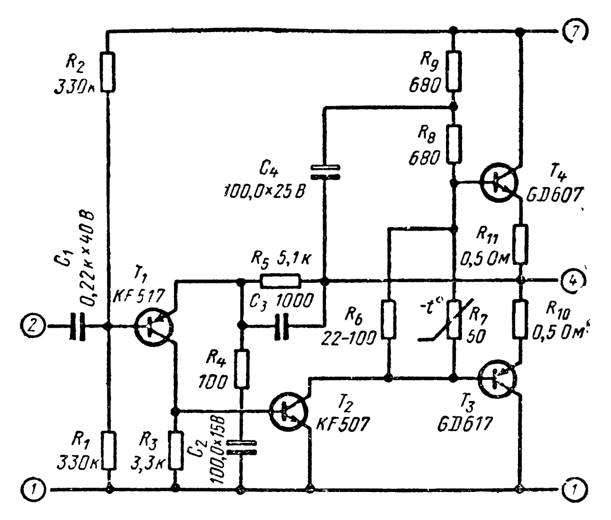


Рис. 25. Усилитель с выходной мощностью 10 Вт — принципиальная схема.

24 В, при более низком напряжении такая мощность не может быть получена. Усилитель пригоден для использования в качестве усилителя мощности в устройствах, питаемых от сети или аккумуляторов. Питание можно осуществлять и от сухих батарей, но потребляемый ток приближается к предельному значению, возможному у сухих батарей.

Усилитель содержит четыре транзистора с непосредственной связью. Оконечные транзисторы (комплементарная пара) — германиевые транзисторы. Транзисторы T_1 и T_2 — кремниевые и имеют разный тип проводимости.

Использование в качестве транзисторов T_1 и T_2 кремниевых транзисторов улучшает стабильность усилителя к изменениям тем-

пературы окружающей среды и его частотную характеристику в области высоких частот. На первый транзистор подается постоянное напряжение с выхода усилителя через резистор R_5. Рабочая точка этого транзистора, а значит, и всех четырех транзисторов задается при помощи делителя R_1, R_2, с которого подается напряжение смещения на базу. У возбуждающего транзистора T_2 в цепи эмиттера нет обычного стабилизирующего сопротивления, так как необходимо максимально использовать напряжение питания и получить как можно бóльшую амплитуду выходного напряжения. В его коллекторной цепи включены резистор R_6 и термистор R_7, которые определяют ток покоя пары комплементарных транзисторов T_3 и T_4. Усилитель работает в режиме АВ. Термистор своим отрицательным температурным коэффициентом уменьшает влияние температуры окружающей среды, стабилизируя значение обратного тока транзисторов выходного каскада. Резистор R_8 является сопротивлением нагрузки предоконечного каскада, с него подается напряжение на оконечный каскад. Благодаря конденсатору C_4, который для напряжения сигнала подсоединяет один конец резистора R_8 к эмиттерам T_3 и T_4, оконечный каскад оказывается включенным по схеме с общим эмиттером. Резисторы R_{10} и R_{11} являются стабилизирующими в эмиттерных цепях мощных транзисторов и создают неглубокую местную отрицательную обратную связь.

Общее усиление определяется обратной связью по переменному току с выхода на эмиттер транзистора T_1, резистор R_4 и конденсатор C_2, через резистор R_5 и фазовую коррекцию при помощи конденсатора C_5. Сопротивление резистора R_4 оказывает влияние на коэффициент усиления. Усиление можно отрегулировать двумя способами. Если его не нужно будет никогда менять, то резистор R_4 временно заменяется потенциометром. Получив требуемое усиление, потенциометр заменяют резистором с соответствующей величиной сопротивления. Если же усиление нужно будет менять, то резистор R_4 следует выполнить в виде полупеременного резистора с сопротивлением 470 Ом. Емкость конденсатора должна быть достаточно большой, чтобы не происходила деформация характеристики в области низких частот.

Выход постоянного напряжения осуществляется через вывод *4*. К этому выводу нагрузка должна подключаться через конденсатор 1000 мкФ на 25 В. Если источник питания имеет среднюю точку, то громкоговоритель подключается к ней и к выводу *4*.

27. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

Усилитель собран на печатной плате 7,5×7,5 см (рис. 26). Могут быть использованы как припаянные выводы, так и разъем (см. рис. П-5). Радиаторы для мощных транзисторов устанавливаются для каждого отдельно, они изолированы друг от друга и после монтажа составляют с платой единое целое. Комплементарные транзисторы должны подбираться по обратному току $I_{к.эо}$ и коэффициенту усиления тока $h_{21э}$; при токе коллектора 10, 100 и 1000 мА они не должны отличаться больше чем на 15%. Кроме того, у всех транзисторов проверяется, превышает ли $U_{к.э\,макс}$ напряжение 24 В.

Перед монтажом производится проверка электролитических конденсаторов на отсутствие утечки. Далее подключаются все элементы и транзисторы T_1 и T_2. Монтируются радиаторы и присоединяются

к печатной плате так, чтобы выводы эмиттера и базы точно касались залуженных мест, предназначенных для этих транзисторов. Затем наступает самая ответственная операция — пайка выводов транзисторов к плате. Выводы транзисторов охлаждаются при помощи пинцета и быстро припаиваются. Этот способ дает хорошие результаты, автор пользуется им уже несколько лет.

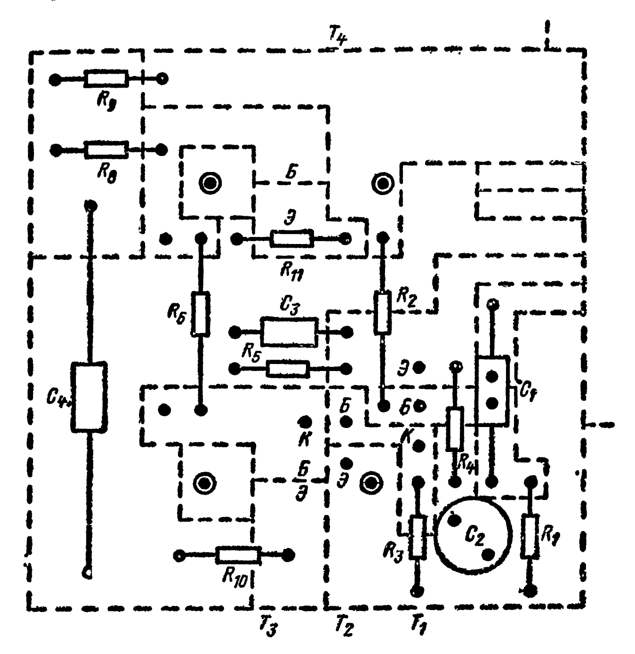


Рис. 26. Усилитель с выходной мощностью 10 Вт — размещение элементов.

Размеры алюминиевых радиаторов должны быть соблюдены точно, чтобы они не касались друг друга. Отверстия для винтов М4 также должны быть выполнены точно. Единственная возможность исправить неточность — это распилить напильником отверстия на плате так, чтобы радиаторы при установке не касались друг друга. Размеры радиаторов достаточны для обычных условий работы, их поверхность желательно чернить, но это не обязательно.

28. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

Резистор R_6 заменяется потенциометром 100 Ом. Отрегулировав его на наименьшее значение сопротивления, усилитель через миллиамперметр и предохранитель на 0,6 А подключают к источнику напряжения 24 В. Потребляемый ток не должен быть больше 15 мА. Если это так, измеряется напряжение на выводе *4*. В случае, если оно

лежит в пределах 12—13 В, на вход усилителя может быть подключен звуковой генератор, а на выход — сопротивление нагрузки 4 Ом, параллельно которому подсоединен осциллограф. Подается малый сигнал частоты 1 кГц и при помощи потенциометра устанавливается рабочая точка, так чтобы исчезли наблюдаемые на экране искажения, после чего можно измерить сопротивление той части потенциометра, которая включена в цепь, и заменить ее постоянным резистором.

Увеличивая напряжение на входе, добиваются ограничения, симметричного у обеих полуволн. Если это не так, то изменением сопротивления резистора R_2 можно так изменить рабочую точку, что ограничение будет симметричным. Если не удается добиться правильного значения максимального выходного напряжения, что может быть в том случае, когда коэффициент усиления тока мощных транзисторов мал, то можно осторожно уменьшить сопротивления резисторов R_8 и R_9. Этим достигается возрастание тока возбуждения и увеличение амплитуды выходного сигнала.

После всего этого проверяется частотная характеристика усилителя. Учитывая сравнительно небольшие размеры теплоотводящих поверхностей, при измерении используют входной сигнал 20 мВ. На выходе в этом случае должно быть переменное напряжение около 1 В. Приведенные цифры зависят от общего коэффициента усиления и справедливы для R_4, равного 100 Ом. Изменяя частоту звукового генератора в заданном диапазоне частот, измеряют выходное напряжение усилителя. Полученные выходные напряжения (при постоянном напряжении на входе) пересчитывают в децибелы; во всем диапазоне частот разница не должна превышать 1 дБ. Измерения производятся при номинальной нагрузке, т. е. 4 Ом. Нужно учесть, что производить измерения при максимальной мощности длительно нельзя, потому что радиаторы транзисторов на это не рассчитаны, ведь нормальный сигнал, которым является музыка или речь, в большую часть времени его длительности не достигает уровня, соответствующего максимальному значению выходной мощности.

29. ЗАЩИТА УСИЛИТЕЛЯ

Усилитель не может быть нагружен на сопротивление нагрузки менее 4 Ом. Нужно проверить характер входного сопротивления комбинаций громкоговорителей, которые будут подключены к усилителю. Некоторые включения имеют емкостный характер в области высших частот, нагрузка в этом случае реактивная и вся мощность усилителя выделяется в виде мощности рассеяния на коллекторах мощных транзисторов, что, конечно, нежелательно.

Если используются мощные транзисторы с большим коэффициентом усиления тока, то ток возбуждения можно уменьшить за счет увеличения сопротивлений резисторов R_8 и R_9; это одновременно предохраняет оконечные транзисторы от повреждения при кратковременном коротком замыкании на выходе. Если будут выполнены эти условия, то в качестве достаточной, а главное, недорогой защиты может быть использован предохранитель на 0,6 А.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

УСИЛИТЕЛЬ С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 25 Вт

30. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	40
Габариты платы, см	7,5×7,5×4
Максимальная выходная мощность, Вт	25
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	4
Максимальное выходное напряжение, В	10,5
Максимальное входное напряжение, В	1,55
Пиковый ток, А	1
Частотная характеристика, Гц . . .	30—16 000 (—1 дБ) зависит от качества примененных мощных транзисторов
Нелинейные искажения	Менее 1% при мощности до 25 Вт на нагрузке 4 Ом
Входное сопротивление, Ом	Более 600
Минимальная теплоотводящая поверхность для мощных транзисторов, см²	600

31. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Усилитель с выходной мощностью 25 Вт* (рис. 27) — самый мощный из описываемых усилителей модульного типа. Он может найти применение в устройстве, системы воспроизведения которого способны выдержать без перегрузки мощность синусоидальных колебаний 25 Вт. Это может быть устройство озвучивания зала или усилитель мощности для электромузыкальных инструментов. В домашних условиях он обеспечивает большой запас мощности для качественного воспроизведения, например, радиопередач на УКВ с большим динамическим диапазоном. Для этого усилителя необходим источник питания 40 В, который может обеспечить ток 1 А и имеет среднюю точку. Транзисторы T_1—T_5 связаны непосредственно. T_1—T_3 — кремниевые транзисторы, мощные транзисторы T_4—T_5 — германиевые, так как в ЧССР нет подходящих мощных кремниевых транзисторов.

Входной транзистор включен по схеме с общим эмиттером. В цепи эмиттера имеется обычная цепь стабилизации режима R_4 и блокировочный конденсатор C_3; через резистор R_3 на базу подается напряжение с выхода усилителя, что создает довольно глубокую отрицательную ОС, стабилизирующую рабочую точку усилителя. Эта связь действует и по переменному току сигнала. Параллельно резистору R_3 включен конденсатор C_2, осуществляющий фазовую коррекцию цепи обратной связи и предупреждающий самовозбуждение усилителя на сверхзвуковых частотах. Сопротивление резистора R_1 оказывает влияние на чувствительность усилителя и на его входное

сопротивление. В цепи коллектора T_1 включены параллельно соединенные резистор R_5 и термистор R_6. Их результирующее сопротивление определяет ток покоя транзисторов T_2 и T_3, работающих также, как и оконечные транзисторы, в режиме АВ.

Сопротивлением нагрузки транзистора T_1 является резистор R_7. Конденсатор C_4 создает положительную обратную связь, которая облегчает возбуждение, благодаря чему возбуждающее напряжение увеличивается на 10%.

Для возбуждения мощных транзисторов служит пара комплементарных транзисторов T_2 и T_3. Транзистор T_2 включен по схеме с общим коллектором. Он типа *p-n-p*. Его сопротивлением нагрузки

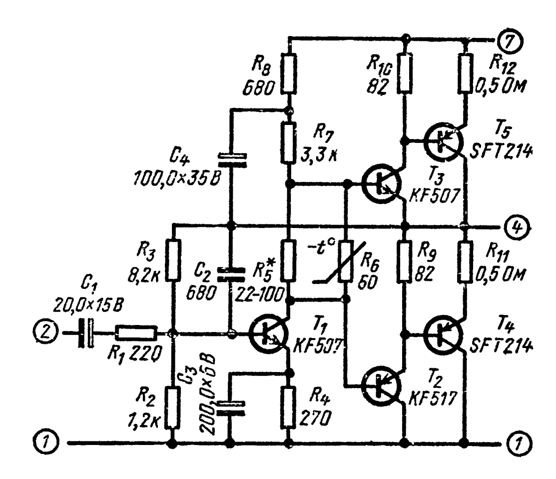


Рис. 27. Усилитель с выходной мощностью 25 Вт — принципиальная схема.

является R_9. T_3 включен по схеме ОЭ, его сопротивление нагрузки R_{10} находится в коллекторной цепи. Транзистор T_3 типа *n-p-n*. Так как пиковая мощность этих транзисторов довольно велика, особенно если у мощных транзисторов усиление тока недостаточно, то транзисторы T_2 и T_3 должны иметь теплоотвод. Можно использовать дисковые радиаторы. В качестве оконечных транзисторов применены германиевые транзисторы, включенные по схеме ОЭ. Они типа *p-n-p*. Их допустимая мощность рассеяния коллектора должна быть больше 10 Вт. Впервые усилитель был собран на американских транзисторах 2N1073B, потом на английских AD140, позднее были использованы транзисторы SFT болгарского производства. Из чехословацких транзисторов TESLA могли бы быть использованы только тип 6 или 7NU74, однако у обоих транзисторов более низкая граничная частота, чем у вышеуказанных транзисторов, поэтому получаемые результаты, особенно в области свыше 10 кГц, значительно хуже. В эмиттерных цепях транзисторов T_4 и T_5 включены резисторы R_{11} и R_{12}, образующие неглубокую отрицательную обратную связь и уменьшающие искажения мощных транзисторов. Выходное

напряжение усилителя постоянное, поэтому нагрузка должна подключаться через разделительный конденсатор, емкость которого в данном случае должна быть 5000 мкФ на 50 В. Лучше, однако, использовать источник со средней точкой. чтобы нагрузка подключалась между нею и выходом усилителя. В этом случае нет необходимости в громоздком и дорогом конденсаторе, а усилитель имеет ровную характеристику вплоть до самых низких частот.

32. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

Предоконечный усилитель собран на печатной плате 7,5×7,5 см (рис. 28). Могут быть использованы припаянные выводы или разъем (см. рис. П-6). Мощные транзисторы размещены на теплоотводящей

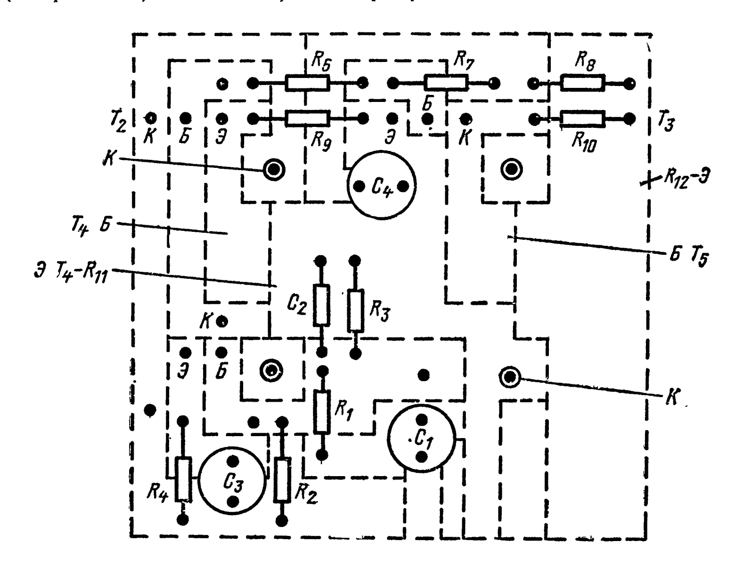


Рис. 28. Усилитель с выходной мощностью 25 Вт — размещение элементов.

пластине с минимальной площадью 600 см², которая может быть заменена металлическим кожухом для всего усилителя. Последний способ чаще всего используется в производстве. Если теплоотводящая поверхность не выполнена в виде двух изолированных частей, то мощные транзисторы должны быть изолированы от теплоотводов при помощи слюды. Мощные транзисторы соединены с печатной платой проводами. Рекомендуется соединять плату с транзисторами только при помощи пайки. Наличие переходного сопротивления на эмиттерном или базовом выводе мощного транзистора при других видах соединения может оказать большое влияние на работу усилителя и вызвать выход из строя этого транзистора из-за перегрева.

Транзисторы перед монтажом проверяются. Прежде всего они должны выдерживать $U_{к.э.макс}=45$ В. Измерения производятся по схеме, близкой к действительной, т. е. между базой и эмиттером транзисторов T_2 и T_3 включается сопротивление 200 Ом, при измерении транзисторов T_4 и T_5 берется сопротивление 82 Ом, для транзистора T_1 — сопротивление 1 кОм. Далее транзисторы подбираются по величине обратного тока. У T_2 и T_3 измеряется обратный ток $I_{к\,эо}$ и усиление тока $h_{21э}$ при токе коллектора 1, 10 и 100 мА. У обоих транзисторов они не должны отличаться больше чем на 15%. Измерение этих параметров у мощных транзисторов производится при токах коллекторов 10, 100 мА и 1 А. Параметры этих транзисторов также не должны отличаться более чем на 15%. Схема не исключает возможности использования отличающихся друг от друга транзисторов, но в этом случае не удается достичь выходной мощности и искажений, приведенных в технических данных. Термистор R_6 проверяется с помощью омметра; выясняется, реагирует ли он на тепло руки. Перед измерением он снабжается слюдяной изоляцией и алюминиевой полоской, которая будет передавать тепло. Нагревая ее рукой, проверяют, уменьшается ли сопротивление термистора.

Теплоотводящие пластины мощных транзисторов должны быть перед монтажом тщательно отполированы в местах соприкосновения с транзисторами или со слюдяной изоляцией, так как в противном случае значительно ухудшается отвод тепла. На транзисторы предоконечного каскада устанавливаются дисковые радиаторы, после чего схема собирается окончательно. В последнюю очередь подсоединяются мощные транзисторы, предварительно закрепленные на теплоотводах.

33. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

Резистор R_5 заменяется потенциометром 100 Ом. Усилитель без нагрузки подключается к источнику напряжения 40 В, лучше всего через миллиамперметр. Потенциометр при этом должен иметь наименьшее сопротивление. Потребляемый ток не должен превышать 20 мА. Если он больше, то нужно тщательно проверить все элементы схемы и транзисторы, не повреждены ли они при пайке. Если потребляемый ток менее 20 мА, то продолжают измерение. Измеряется напряжение постоянного тока в точке *4* — на выходе усилителя. Оно должно быть около 20 В, т. е. половина напряжения питания. При отличии на величину большую, чем 2 В, производится корректировка выходного напряжения при помощи резистора R_4. Затем к выходу усилителя в соответствии с данными ранее рекомендациями подключается нагрузка 4 Ом на 25 Вт, ко входу — звуковой генератор, а к выводам *4* и *1* — осциллограф. На усилитель подается напряжение, значение которого невелико (с частотой 1 кГц), и на экране наблюдаются искажения сигнала. При помощи потенциометра R_5 ток возбуждения увеличивается до тех пор, пока искажения не исчезнут. Увеличив ток на 10%, измеряем сопротивление потенциометра и заменяем его постоянным резистором. При этом измерении термистор R_6 должен быть на своем месте. Лучше всего разместить его между оконечными транзисторами. Далее на усилитель подается сигнал с частотой 1 кГц, а на экране наблюдается, симметрично ли наступает ограничение обеих полуволн при

увеличении сигнала. Несимметричность может быть исправлена резистором R_4.

Частотная характеристика измеряется при меньшей мощности усилителя, например при 4 Вт. Тогда на сопротивлении 4 Ом должно быть напряжение 4 В. Измерение можно производить любым вольтметром, имеющим достаточную точность в диапазоне 30 Гц — 15 кГц. При постоянном входном напряжении изменяется частота генератора и отмечается значение выходного напряжения. При условии, что граничная частота оконечных транзисторов достаточно высока, отклонения не должны превышать 1 дБ во всем диапазоне. Искажения усилителя при максимальном возбуждении проверяются по осциллографу. Пользоваться приборами, измеряющими искажения, не рекомендуется, так как при частотах свыше 5 кГц за время, необходимое для измерения, может произойти перегрев транзисторов T_4 и T_5. Время, необходимое для оценки на осциллографе, значительно меньше.

34. ЗАЩИТА УСИЛИТЕЛЯ

Нагрузка усилителя должна составлять 4 Ом. Оптимальным предохранителем для усилителя будет одноамперный предохранитель. Для случая короткого замыкания в нагрузке источник питания можно снабдить тиристорным предохранителем, срабатывающим при любом, заранее заданном значении тока. Если у источника есть электронный предохранитель, то его нужно отрегулировать на ток 1 А, это будет достаточной защитой мощного усилителя.

Усилитель можно выполнить и с меньшими радиаторами (рис. 29), если будет использовано принудительное охлаждение при помощи вентилятора достаточной мощности.

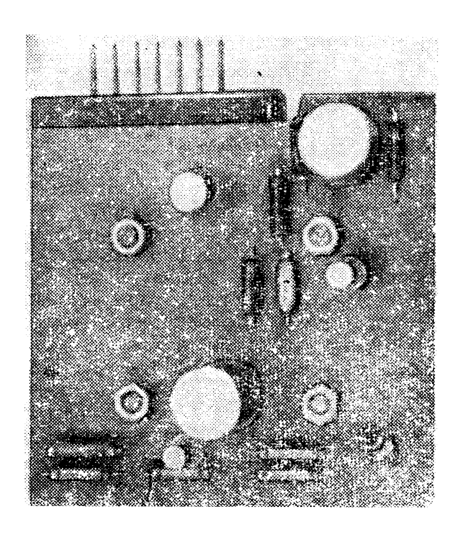


Рис. 29. Усилитель с выходной мощностью 25 Вт — вид со стороны деталей.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

УСИЛИТЕЛЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДЛЯ МАГНИТОФОНА

35. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	24
Габариты, см	7,5×7,5×4
Максимальное усиление, дБ	80
Максимальное выходное напряжение, В	2,5
Номинальное выходное напряжение, мВ	250
Минимальное входное сопротивление, кОм	50
Запас по линейности, дБ	20
Нелинейные искажения, %	Менее 1
Частотная характеристика, Гц	30—16 000 (—1 дБ) линейная, в других случаях в зависимости от корректирующей цепи

36. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Этот усилитель (рис. 30) * предназначен прежде всего для выполнения функций корректирующего усилителя при воспроизведении магнитной записи. Однако его можно использовать в качестве усилителя с линейной или переключаемой частотной характеристикой. Транзисторы T_1, T_2 и T_3 имеют непосредственную связь. Особенностью этой схемы является включение второго транзистора как эмиттерного повторителя. Дело в том, что такая схема дает возможность получить большое усиление усилителя (около 90 дБ) до введения обратной связи; такое усиление необходимо для коррекции нормы записи и спада частотной характеристики в области высоких частот из-за конечной величины рабочего зазора головки. Если искажения должны быть меньше 1%, то обратная связь должна иметь глубину хотя бы 20 дБ для любой частоты передаваемого диапазона. У схемы с эмиттерным повторителем большое усиление потому, что усиление первого транзистора определяется значением сопротивления в коллекторной цепи транзистора T_1, которое составляет сопротивление резистора (R_4), внутреннее сопротивление транзистора T_1 и входное сопротивление транзистора T_2. Входное сопротивление эмиттерного повторителя в несколько раз больше, чем сопротивление транзистора, включенного по схеме с ОЭ, поэтому он значительно меньше нагружает коллекторную цепь транзистора T_1 и получается большее усиление, чем в схеме с включением ОЭ—ОЭ—ОК.

Рабочая точка усилителя выбрана так, чтобы во входной цепи протекал наименьший ток. Для достижения как можно меньшего уровня шума ток, протекающий через транзистор T_1, выбран равным 0,1 мА. Конденсатор C_2 предупреждает самовозбуждение на сверхзвуковых частотах. Подобную функцию выполняет и резистор R_6, включенный между эмиттером второго и базой третьего транзисторов. В транзисторных усилителях этого типа в связи с большим

усилением нужно особое внимание обратить на цепи отрицательной ОС, прежде всего с точки зрения фазы, чтобы не произошло самовозбуждение усилителя, которое может вызвать стирание или повысить уровень шума магнитофонной записи.

Рабочая точка усилителя определяется сопротивлением резистора R_2, через который с эмиттера транзистора T_3 (вернее с делителя R_7 и R_8) подается напряжение на базу транзистора T_1. Этим обеспечена температурная стабильность всего усилителя.

Резистор R_{10} и конденсатор C_5 образуют фильтр питания и препятствуют возникновению нежелательных связей через соединитель-

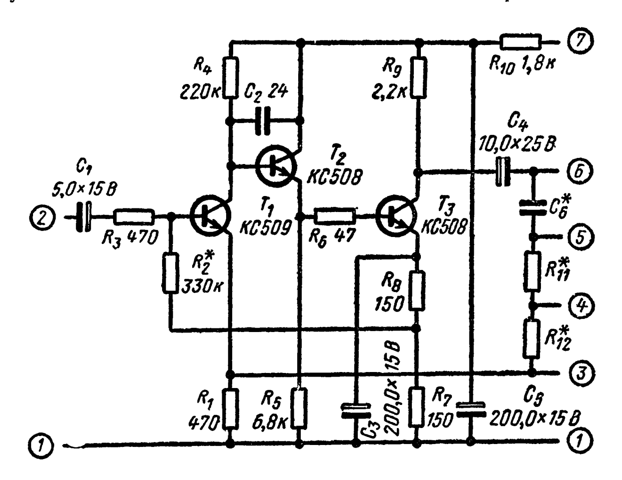


Рис. 30. Усилитель воспроизведения для магнитофона — принципиальная схема.

ные провода в сложных устройствах. Цепь ОС определяет частотную характеристику и усиление всего усилителя. Может быть включено несколько корректирующих цепей, которые размещаются вне платы усилителя. Коррекция частотной характеристики проводится в двух направлениях. Во-первых, это коррекция, определяемая нормой записи, которая для каждой скорости иная, но для каждого магнитофона и любой головки одинакова. Во-вторых, эта коррекция, компенсирующая падение напряжения на головке из-за конечных размеров ее рабочего зазора. Эта коррекция для каждой головки своя и, кроме того, меняется со временем, так как по мере износа головки изменяются и эти потери.

Коррекция согласно норме осуществляется в цепи ОС усилителя при помощи конденсатора C_6 и резисторов R_{11} и R_{12}. Через эту частотно-зависимую цепь обратная связь подводится с коллектора транзистора T_3 на эмиттер транзистора T_1. Усиление возрастает, начиная с частоты, определяемой постоянной времени цепи обратной связи, с крутизной 6 дБ на октаву. Если норма требует другую постоянную времени, которая означает ограничение усиления усилителя воспроизведения на низких частотах, то к конденсатору C_6 должен быть подключен еще один резистор, обеспечивающий вместе с C_6 необходимые свойства (R_{13}, табл. 5).

Коррекция влияния зазора производится между точками *4* и *1* усилителя и всегда размещена вне платы усилителя. Она подключается между средней точкой резисторов R_{11} и R_{12} и общим проводом. Это может быть последовательное соединение R и C или цепь из R, L и C в зависимости от крутизны спада частотной характеристики на высоких частотах. В случае необходимости между точками *3* и *1* может быть также включена последовательная резонансная цепь. Величину этой коррекции нельзя установить заранее, и в каждом случае она должна рассчитываться снова по результатам измерений, произведенных при помощи измерительной ленты.

Если усилитель будет использоваться только для одной скорости магнитофона, то для коррекции зазора используются выводы *4*, *3*, *1*. В магнитофоне с несколькими скоростями используются выводы *6*, *3*, *1*; все корректирующие элементы размещаются вне усилителя и подключаются к переключателю. Подводящие провода должны быть хорошо экранированы. Для других целей можно к точкам *6* и *3* усилителя подключить любые элементы и получить с помощью цепи обратной связи требуемую характеристику.

37. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

Усилитель собран на печатной плате 7,5×7,5 см (рис. 31). Могут быть использованы разъем или паяные выводы (см. рис. П-7).

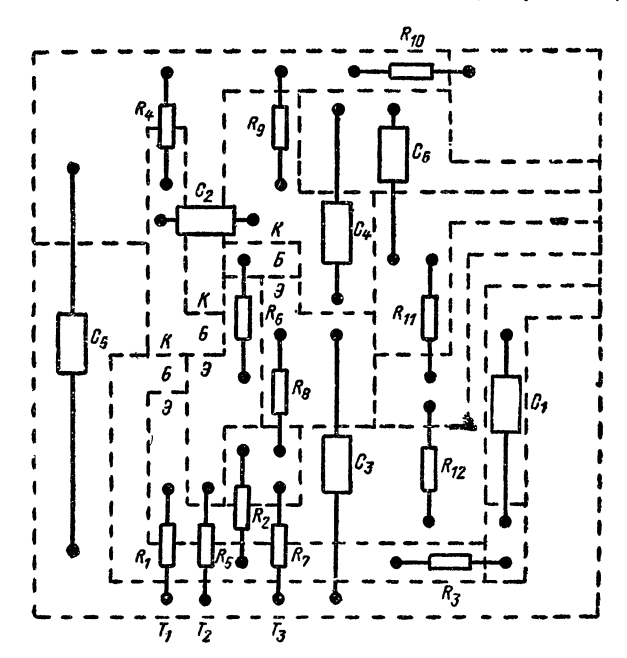


Рис. 31. Усилитель воспроизведения для магнитофона — размещение элементов.

Транзисторы должны быть проверены, т. е. измерены обратный ток $I_{к.эо}$ и усиление тока $h_{21э}$. В качестве транзистора T_1 используется транзистор с самым малым обратным током. Для этого усилителя можно рекомендовать транзисторы КС509, КС508, а из заграничных ВС109, ВС108 и подобные.

Особое внимание нужно уделить конденсатору C_1. У него должна быть минимальная утечка, так как ток, протекающий через этот конденсатор с базы на землю, может вызвать подмагничивание головки, что приводит к повышению уровня шума. Значения элементов корректирующих цепей нужно измерить, так как допуски деталей таковы, что частотная характеристика может быть изменена на 3 дБ. Поэтому необходимые элементы нужно выбирать из большого количества. Особенно неприятно проявляются отклонения от нормы, возникающие из-за неточности значений элементов в области частоты раздела f_1 (табл. 5), так как если действительная частота раздела выше, то имеет место явление (так называемой prezensefekt), которое в значительной мере изменяет тембр звука. Воспроизводимый звук становится подчеркнуто «естественным», что для некоторых инструментов нежелательно.

Таблица 5

Коррекция частотной характеристики усилителя воспроизведения в соответствии со стандартизованной записью

Норма	Скорость, см/с	τ_1, мкс	f_1, Гц	τ_2, мкс	f_2, Гц	R_{11}, кОм	R_{12}, кОм	C_6, пФ	R_{13}, кОм
IEC	38	35	4547	—	—	10	10	1800	—
	19	70	2274	3180	50	10	10	3600	820
	9,5	140	1137	3180	50	10	10	6800	470
ЧГН профессиональная	38	35	4547	—	—	10	10	1800	—
	19	70	2274	—	—	10	10	3600	—
	9,5	140	1137	1590	100	10	10	6800	240
ЧГН коммерческая	19	70	2274	1590	100	10	10	3600	470
	9,5	140	1137	1590	100	10	10	6800	240
DIN коммерческая	19	50	3180	3180	50	10	10	2500	1200
	9,5	90	1765	3180	50	10	10	4700	680

38. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

Перед установкой рабочей точки резистор R_2 заменяется потенциометром (0,68 МОм). Отрегулировав потенциометр на максимальное сопротивление, усилитель подключают к источнику напряжения 24 В. Потребляемый ток не должен превышать 10 мА. Если это так, то можно продолжать наладку.

Между точками *3* и *6* подключается сопротивление 47 кОм. Благодаря этому у усилителя станет линейной частотная характерис-

тика, и можно устанавливать рабочую точку. На вход усилителя подается сигнал 1 кГц, на выход подключается осциллограф.

Входное напряжение плавно повышается до тех пор, пока на экране не появится ограничение синусоиды сигнала. При помощи резистора R_2 рабочая точка регулируется так, чтобы ограничение происходило одновременно на обеих полуволнах. Эта регулировка очень важна, так как при воспроизведении записи с лент, изготовленных из так называемых highoutput материалов (Agfa PER555 и подобные), необходим запас усиления, достигающий 10 дБ по сравнению с записью на измерительной ленте. Проверяется, имеют ли место в усилителе автоколебания, особенно при подключении и отключении источника питания. Далее проверяется частотная характеристика усилителя, она должна быть плоской в диапазоне 30—16 кГц с наибольшим отклонением на 1 дБ. Если все в порядке, то сопротивление 47 кОм исключается из цепи ОС, измеряется сопротивление потенциометра, заменившего R_2, и вместо него подключается постоянный резистор.

Только после этого сопротивление 47 кОм заменяется корректирующим звеном, однако оно монтируется не на плате усилителя, а отдельно и подключается к выводам *3* и *6*. Прежде всего подключается цепь коррекции в соответствии со стандартизованной измерительной записью (табл. 5), т. е. конденсатор C_6 и резисторы R_{11} и R_{12}. При помощи звукового генератора и НЧ милливольтметра проверяется частотная характеристика. Измерения производятся в диапазоне 30 Гц — $2f_1$. Если характеристика совпадает с нормой, то можно перейти к коррекции влияния зазора головки. Если это не так, то можно предположить, что причина лежит в неточности значений элементов или при недостаточном уровне низких частот (30—100 Гц) может быть мало усиление усилителя без обратной связи. В этом случае сначала должен быть ликвидирован этот недостаток, а потом можно продолжить измерения. Далее будем работать с измерительной лентой. На ней в соответствии с нормой записаны частоты, все на одном уровне. У каждой измерительной ленты есть точное описание последовательности частот и использованных уровней. Перед измерением головки должны быть размагничены, иначе они могут повредить запись на измерительной ленте.

Усилитель подключается к воспроизводящей головке магнитофона, а к выходу подсоединяется низкочастотный электронный милливольтметр. Параллельно к нему подключается любой усилитель с громкоговорителем для акустического контроля содержания измерительной ленты. Производится воспроизведение записи и отмечаются измеренные величины. После пересчета в децибелы по отношению к нормирующей частоте данные наносятся на график. Для этой цели используется логарифмическая бумага.

Усилитель примерно до частоты $2f_1$ должен иметь отклонения около ± 1 дБ, кроме области частот, меньших 150 Гц, где характеристика может иметь большую неравномерность из-за влияния экрана головки. В области частот бо́льших $2f_1$ характеристика понижается вследствие влияния ширины рабочего зазора головки. Чем у́же зазор, тем позже проявляется его влияние и тем менее крутой будет спад характеристики. Если спад на высоких частотах не превышает 6 дБ на октаву, то для коррекции влияния зазора достаточно использование *RC*-цепи. Выбираем ее параметры так, чтобы постоянная времени соответствовала частоте, на которой при воспроизведении с измерительной ленты наблюдался спад характеристики на 3 дБ.

Естественно, что перед этими измерениями должна быть отрегулирована перпендикулярность зазора головки. Если спад превышает 6 дБ/октаву, то для коррекции надо использовать последовательный резонансный контур *RLC*. Он должен иметь характеристику, крутизна ската которой как можно больше соответствовала крутизне полученной характеристики. Резонансная частота должна быть выше самой высокой передаваемой частоты; крутизна скатов кривой определяется значением сопротивления. Чем это сопротивление меньше, тем больше избирательная способность контура и скат кривой круче. Расчет такого контура трудоемок, поэтому его элементы подбираются экспериментальным путем. Резонансная частота выбирается на 1—2 кГц выше, чем самая высокая передаваемая частота. Размеры катушки не должны быть слишком большими, чтобы сопротивление обмотки не ухудшало ее качества. Обычно она выполняется на ферритовом броневом сердечнике с подстроечником.

Имеются две возможности подключения этой корректирующей цепи. Если нужен небольшой сдвиг частотной характеристики, то контур подключается к точкам *3* и *1*, т. е. параллельно эмиттерному сопротивлению R_1 транзистора T_1. Для обеспечения большего подъема на высоких частотах резонансный контур подключается к точкам *4* и *1*, куда также подключается *RC*-цепочка, если она обеспечивает коррекцию 6 дБ/октаву. В обоих случаях сопротивление корректирующей цепи должно быть переменным. *RC*-цепь или *RLC*-контур настраиваются при помощи измерительной ленты. Если достаточно использование *RC*-цепи, то при помощи сопротивления *R* она настраивается так, чтобы не происходило перекомпенсации; если используется *RLC*-контур, то предварительно при помощи подстроечника катушки должна быть установлена резонансная частота. Лучше всего для этого воспользоваться звуковым генератором и осциллографом. А крутизна подъема устанавливается при помощи измерительной ленты. Если и контур *RLC* не обеспечит необходимую коррекцию, то нужно выбрать другую головку, имеющую более узкий зазор.

Все эти рассуждения справедливы для низкоомных головок, которые в настоящее время широко используются в магнитофонах всех типов. Индуктивность головок лежит в пределах 50—200 мГн. При использовании высокоомных головок входное сопротивление усилителя оказывало бы вредное влияние, прежде всего на высоких частотах. В этом случае и корректировка согласно норме проводилась бы с использованием измерительной ленты. Из-за наводок фона, однако, лучше использовать низкоомные головки, даже если бы их пришлось заменять.

Наконец, хотелось бы обратить внимание на следующее. В настоящее время имеется достаточное количество магнитофонов, механическая часть которых находится в хорошем состоянии, а параметры электрической части неудовлетворительны. Описанный выше усилитель позволит использовать эти магнитофоны хотя бы для проигрывания. При замене установленных в них головок головками магнитофонов серии B4... можно добиться отличных результатов. Однако без измерительной ленты такую переделку магнитофона производить нецелесообразно, так как усилитель должен быть налажен с учетом свойств головок при определенной скорости ленты.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

КОРРЕКТИРУЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ПРОИГРЫВАТЕЛЯ

39. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	24
Габариты, см	7,5×7,5×4
Максимальное усиление, дБ	60
Максимальное выходное напряжение, В	2,5
Номинальное выходное напряжение, мВ	250
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	5
Запас по линейности, дБ	20
Усиление на частоте 1 кГц с коррекцией RIAA, дБ	40
Нелинейные искажения, %	Менее 1
Минимальное входное сопротивление, кОм	50
Частотная характеристика, Гц	30—16 000 (—1 дБ) при использовании в качестве усилителя с линейной частотной характеристикой, в других случаях в зависимости от цепи частотной коррекции

40. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Этот усилитель * (рис. 32) предназначен в первую очередь для использования в качестве предварительного усилителя сигнала от звукоснимателя проигрывателя, э. д. с. которого пропорциональна колебательной скорости (скоростной звукосниматель). Однако он может быть использован и со звукоснимателем, э. д. с. которого пропорциональна амплитуде смещения иглы (амплитудный звукосниматель). У него имеется достаточный запас усиления для коррекции согласно норме IEC (RIAA) [1].

Транзисторы T_1, T_2 и T_3 имеют непосредственную связь. Для обеспечения низкого уровня шума ток, протекающий через транзистор T_1, выбран равным 0,1 мА.

Рабочая точка усилителя устанавливается при помощи резистора R_2. Его сопротивление должно лежать в пределах 100—680 кОм и зависит от коэффициента усиления по току транзисторов. Транзистор T_3 включен как эмиттерный повторитель, выходное сопротивление которого мало и поэтому цепь ОС, используемая для коррекции, не нагружает выходную цепь усилителя и не уменьшает его

[1] IEC — МЭК — Международная электротехническая комиссия, которой в 1958 г. были установлены унифицированные частотные характеристики для каналов записи и воспроизведения на диск с широкой и узкой канавками. (*Прим. ред.*)

основное усиление. Это необходимо для достижения заданной частотной характеристики и малых искажений.

Резистор R_7 и конденсатор C_5 составляют фильтр в цепи питания усилителя и предохраняют его от самовозбуждения под влиянием паразитных связей, возникающих через провода или из-за недостаточной стабильности напряжения источника питания. Конденсатор C_2 ограничивает усиление на сверхзвуковых частотах и предупреждает самовозбуждение на частотах порядка сотен килогерц. Его емкость должна быть такой, чтобы он начал оказывать влияние,

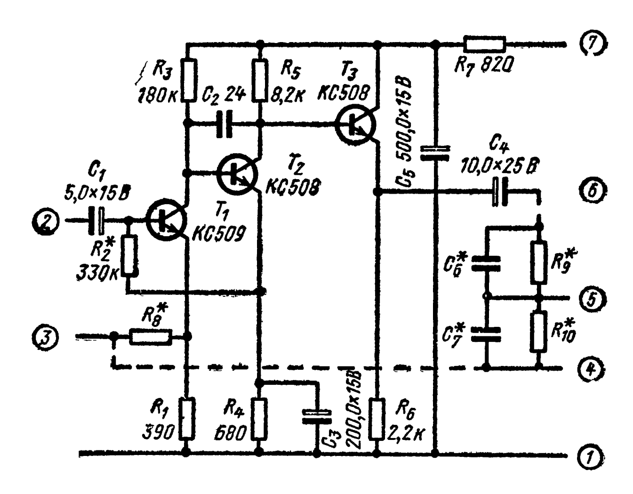


Рис. 32. Корректирующий усилитель для проигрывателя — принципиальная схема.

начиная с частоты 25 кГц. Цепь ОС определяет усиление и частотную характеристику усилителя. Она может быть нескольких видов. Если требуется коррекция только в соответствии с одной нормой, то может быть использована возможность разместить корректирующую цепь прямо на печатной плате; для коррекции в соответствии с несколькими нормами используются выводы *3* и *6*, а корректирующие цепи размещаются вне печатной платы, лучше всего прямо у переключателя. Печатная схема позволяет использовать этот усилитель и как корректирующий, и как усилитель с линейной частотной характеристикой. Подключив к точкам *5* и *6* корректирующую цепь, можно к точкам *3* и *5* подсоединить сопротивление, определяющее усиление усилителя с линейной характеристикой; закорачивая выводы *5* и *6* или *3* и *5*, переключаем оба вывода коррекции, а значит, и частотную характеристику всего усилителя. В случае необходимости при помощи подключения другого типа корректирующей цепи обратной связи усилителя можно приспособить частотную характеристику для другого источника сигнала, например для кремниевого фотоэлемента.

Для коррекции характеристики по норме RIAA, которую использует большинство фирм, выпускающих пластинки, и которая

необходима при использовании звукоснимателей скоростного типа (электромагнитные, электродинамические и т. д.), служит корректирующая цепь, составленная из резистора R_9 с параллельным подключением конденсатора C_6 и резистора R_{10} с параллельным конденсатором C_7. В случае использования амплитудного звукоснимателя (пьезоэлектрический) его необходимо нагрузить резистором с сопротивлением 1—5 кОм. Характеристика усилителя при этом корректируется в соответствии с нормой RIAA или оставляется линейной. В последнем случае параллельно звукоснимателю необходимо подключить RC-цепь с постоянной времени, равной произведению емкости звукоснимателя и рекомендуемого сопротивления нагрузки.

41. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

Усилитель собран на печатной плате 7,5×7,5 см (рис. 33). Схема позволяет использовать разъем и припаянные выводы (см. рис. П-8). Транзисторы выбираются по обратному току $I_{к.э0}$ и коэффициенту

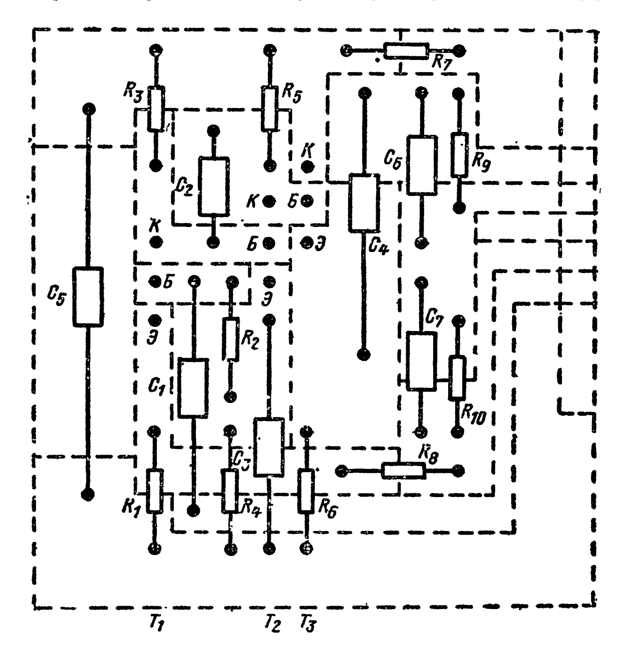


Рис. 33. Корректирующий усилитель для проигрывателя — размещение элементов.

$h_{21э}$. Транзистор с самым маленьким током включается на вход в качестве транзистора T_1; транзистор с самым большим $h_{21э}$ используется в качестве транзистора T_2, а на место T_3 подойдет любой транзистор. В этом усилителе могут быть использованы транзисторы

типа KC509, KC508 или заграничные BC109, BC108; в качестве T_3 можно использовать и KF506—KF508.

Все элементы перед сборкой схемы проверяются и в первую очередь транзисторы и электролитические конденсаторы. У конденсаторов иногда может быть такая большая утечка, что не удается установить рабочую точку.

Измеряются также значения элементов корректирующих цепей, так как из-за допусков деталей параметры могут значительно отличаться от предполагаемых. Выводы всех деталей зачищаются, а у транзисторов и залуживаются. Залуживаются также места около отверстий для выводов транзисторов, что позволит сократить время нагрева транзистора при пайке до минимума. Улучшает теплоотвод также пинцет.

42. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ

Прежде всего резистор R_2 заменяется потенциометром с сопротивлением 0,68 МОм. Отрегулировав его на максимальное сопротивление, усилитель подключают к источнику напряжения 24 В. Проверяется значение потребляемого тока, которое не должно быть более 10 мА. Если это так, то можно считать, что усилитель в порядке, и продолжать его наладку.

При установке рабочей точки и измерениях лучше всего использовать омический делитель напряжения не в цепи коррекции, а в цепи обратной связи, т. е. к точкам *3* и *6* подключить резистор сопротивлением 36 кОм. При этом у усилителя должно быть усиление, не зависящее от частоты около 40 дБ.

Налаживание при помощи осциллографа. Ко входу усилителя подключается звуковой генератор, настроенный на частоту 1 кГц, и входное напряжение увеличивается до тех пор, пока на одной полуволне синусоиды не появятся ограничения. Рабочая точка устанавливается потенциометром так, чтобы усилитель ограничивал одновременно обе полуволны. После этого измеряется сопротивление потенциометра и он заменяется соответствующим резистором. После этого желательно снять частотную характеристику усилителя без цепи коррекции. Она должна быть равномерной в диапазоне 30 Гц — 16 кГц с максимальным отклонением 1 дБ. Если все в порядке, сопротивление 39 кОм заменяется постоянной цепью коррекции. Затем снимается частотная характеристика всего корректирующего усилителя. Для этого понадобится низкочастотный милливольтметр, который подключается к выходу усилителя параллельно осциллографу. На вход усилителя подается напряжение 1 мВ. Меняется частота и измеряется напряжение на выходе.

Выходное напряжение в милливольтах информирует об усилении усилителя на отдельных частотах. Затем производится пересчет на частоту 1 кГц и перевод в децибелы. Полученные значения сравниваются с табличными, они не должны отличаться более чем на 1 дБ (табл. 6).

Усиление $A_x = 20 \log \frac{U_x}{U_{(1кГц)}}$, где x — частота, на которой производится сравнение.

Если указанных приборов нет, то сопротивление резистора R_2 регулируется по напряжению на колллекторе и эмиттере транзисто-

Таблица 6

Характеристика воспроизведения

Частота, Гц	Уровень, дБ	Частота, Гц	Уровень, дБ
30	+18,6	2000	—2,6
50	+16,9	4000	—6,6
70	+15,3	6000	—9,6
100	+13,1	8000	—11,9
200	+8,2	10 000	—13,7
400	+3,8	12 000	—15,2
700	+1,2	14 000	—16,6
1000	+0	16 000	—17,7

ра T_2 (см. рис. 32). Дополнительный контроль можно произвести только при помощи проигрывателя и измерительной пластинки (например, чехословацкий Supraphon KV5 или KV11). Могут быть использованы и другие измерительные пластинки. При таком измерении, однако, вносится ошибка, вызванная частотной характеристикой звукоснимателя, поэтому результат измерений зависит от его характеристики, хотя с точки зрения эксплуатации нас интересует характеристика самого усилителя, так как головки звукоснимателей заменяются. В качестве выходного измерительного прибора должен быть использован низкочастотный милливольтметр, так как запись на измерительных пластинках производится обычно на уровне —15 дБ по отношению к пиковому значению сигнала, что соответствует колебательной скорости 0,5 см/с на 1 кГц. На пластинках Supraphon KV5 и KV11, кроме того, есть область 12—18 кГц, записанная с колебательной скоростью 0,5 см/с на 1 кГц. В процессе измерения стрелка прибора никогда полностью не успокаивается. Это обусловлено поверхностью пластинки и не должно вызывать сомнений о качестве усилителя.

При наладке и измерениях усилителя все рабочее место должно быть заземлено, провода экранированы, чтобы из-за высокой чувствительности усилителя наведенный от сети фон не искажал измеренные величины в области басов. Поэтому желателен осциллографический контроль измерений.

Измерение других параметров усилителя. Для измерения отношения сигнал/шум, нелинейных искажений, частотной характеристики, входного сопротивления и запаса по линейности справедливы принципы, изложенные в общей части книги.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ПРИЕМНИК АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

43. КРАТКИЙ ОБЗОР

Приемник АМ (рис. 34) может быть в принципе выполнен тремя способами. Они отличаются друг от друга способом усиления входного сигнала и способом его детектирования. В зависимости от этого приемник АМ подразделяются на: 1) приемники прямого усиления, 2) супергетеродины, 3) приемники, работающие по принципу синхродина.

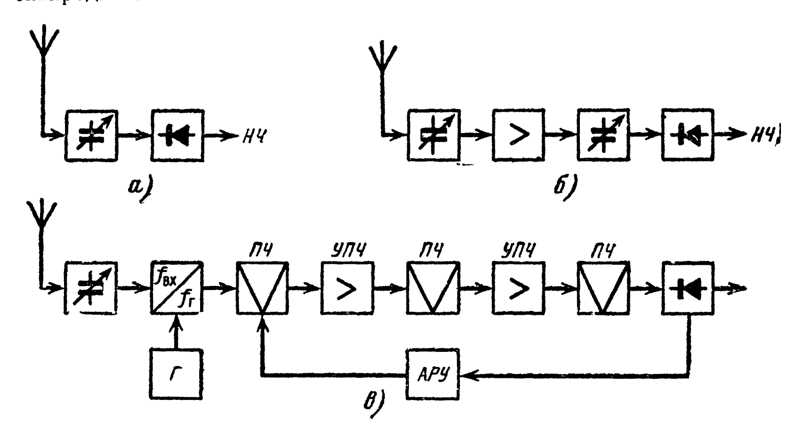


Рис. 34. Приемник сигналов АМ — структурные схемы.

а — приемник прямого усиления; *б* — приемник прямого усиления с усилителем ВЧ; *в* — супергетеродинный приемник.

Приемник первого типа характеризуется тем, что усиление входного сигнала происходит на частоте, на которой он приходит. Все резонансные контуры настраиваются на одну и ту же частоту, поэтому для перехода на другую частоту нужно перестраивать все контуры одновременно. Такой усилитель не имеет постоянной избирательности (меняется соотношение $L:C$); в связи с трудностями нейтрализации приемник не отличается стабильностью. Поэтому на этом принципе конструируются лишь несложные приемники, предназначенные для приема местных передач, не более чем с двумя резонансными контурами. К этой группе относятся также рефлексные приемники, которые отличаются от вышеуказанных только двойным использованием транзисторов (как для ВЧ, так и для НЧ части приемника). Это довольно простой приемник, однако, эта выгода сейчас, когда радиовещательные диапазоны переполнены, теряет смысл. Поэтому в книге не предлагается схема этого приемника; желающие могут найти все необходимые сведения в журналах Amaterské radio или Radiový konstrukter.

Супергетеродин характеризуется преобразованием входной частоты в постоянную промежуточную частоту, которая возникает как сумма или разность входной частоты и частоты вспомогательного генератора, настроенного сопряженно с входным контуром. Усиление и избирательность определяются усилителем промежуточной частоты, которая не зависит от диапазона принимаемых частот. Можно сказать, что в настоящее время преобладают радиоприемники именно этого типа, а для особых целей этот принцип используется многократно; имеются супергетеродины, где частота преобразуется два, три раза и более.

Такой радиоприемник отвечает самым высоким требованиям, предъявляемым к избирательности, чувствительность же определяется уровнем напряжения шума перед смесителем. Обычно супергетеродинный радиоприемник имеет два резонансных контура: входной и гетеродина.

Приемник, работающий по принципу синхродина, характеризуется способом детектирования сигнала, которое производится смешиванием входного сигнала со вспомогательной частотой генератора, работающего на той же частоте, что и входной сигнал, и фаза которого регулируется входным сигналом при помощи соответствующих синхронизирующих схем. Одним из продуктов смешивания является низкочастотный сигнал, усиливаемый далее в УНЧ. Избирательность приемника определяется выбранным принципом детектирования, при котором НЧ сигнал будет возникать только от входного сигнала, имеющего ту же несущую частоту и фазу, что и вспомогательный генератор. Отдельные радиостанции возникают при перестройке скачком, с начала возникновения и до момента нарушения синхронизации. Неприятным свойством радиоприемников этого типа является состояние, когда из-за замирания происходит исчезновение сигнала на короткое время и вспомогательный генератор синхронизируется с соседней радиостанцией. В этом случае происходит переключение двух программ, потому что вспомогательный генератор автоматически захватывается более сильным сигналом, лежащим в пределах синхронизма. Этот принцип может быть сравнительно легко реализован для длинных и средних волн, для приема коротких волн он может быть использован только в качестве детектора в приемнике супергетеродинного типа. Преобразование частоты осуществляется в балансном смесителе, чаще всего кольцевом модуляторе. Такие приемники в разных вариантах на лампах существовали в 50-е годы. Но в серийное производство они не попали. В транзисторном исполнении этот принцип реализован в некоторых профессиональных устройствах.

Выгоды приемника такого типа, т. е. избирательность и постоянная заданная ширина полосы принимаемых частот, теряют в настоящее время свое значение из-за массового производства электромеханических и пьезокерамических фильтров Учитывая сложность схемы синхронизированного генератора, можно сказать, что конструкция супергетеродинов проще при наличии примерно одинаковых свойств.

Радиоприемник, выбранный для рассматриваемой модульной системы, является супергетеродинным, он был выбран благодаря тому, что его легко выполнить, а требуемые параметры можно получить при настройке с помощью обычных приборов.

44. ОТДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ СУПЕРГЕТЕРОДИНА И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Входные контуры супергетеродина. Входная цепь может быть выполнена в виде одного резонансного контура или перестраиваемого полосового фильтра, за которыми следует либо смеситель, либо резонансный усилитель высокой частоты. УВЧ используется тогда, когда нужна высокая чувствительность и хорошая избирательность по зеркальному каналу. Чтобы его возможности были полностью использованы, необходимо применять трехсекционный блок конденсаторов настройки. Если резонансный контур будет только на входе, а коллекторная цепь будет апериодической, то может возникнуть перекрестная модуляция.

Для того чтобы добиться хорошей автоматической регулировки усиления (АРУ), производится регулирование усиления в УВЧ. Ферритовые антенны используются в переносных радиоприемниках, у стационарных приемников должна быть возможность использования как проволочной антенны, так и ферритовой. Лучше всего в этом случае снабдить приемник дополнительными входными катушками и переключать их. Автомобильный приемник должен иметь вход, приспособленный для использования коротких антенн, ни в коем случае не рекомендуется использовать ферритовые антенны (из-за чувствительности к полю электропроводки машины).

Преобразовательный каскад. В настоящее время широкое распространение получили генерирующие смесители (преобразователи), имеющие много преимуществ. Если не требуется осуществлять регулировку усиления смесителя при помощи АРУ, то схема с преобразователем значительно проще и надежнее. Гетеродин в такой схеме работает с ОБ, смешение аддитивное, т. е. принимаемый сигнал и сигнал гетеродина подводятся к одним и тем же электродам транзистора; функции гетеродина и смесителя совмещены. Иногда для получения большего усиления на входе смесителя подключается последовательный резонансный контур, настроенный на промежуточную частоту.

С точки зрения входного сигнала схема работает с ОЭ. Частота гетеродина выше принимаемой на промежуточную частоту.

Усилитель промежуточной частоты. От этой части супергетеродина зависит избирательность по соседнему каналу и чувствительность приемника. Чувствительность, однако, ограничена собственными шумами приемника, и поэтому совершенно излишне добиваться у усилителя промежуточной частоты усиления большего, чем это необходимо для нормальной работы детектора. Если собственный шум смесителя настолько усилен УПЧ, что он детектируется, то все параметры приемника значительно ухудшаются как раз в области слабых сигналов. Это явление наблюдалось у некоторых типов радиоприемников и телевизоров фабричного производства прошлых лет выпуска.

Чтобы избежать перекрестной модуляции, в настоящее время стремятся использовать фильтры с сосредоточенной избирательностью. Требование сосредоточения контуров, определяющих избирательность, в одном месте, а именно непосредственно за смесителем, вполне оправданно, и при использовании, например, электромеханических фильтров оно может быть легко реализовано. Каждый, кто имел возможность сравнить приемник с рассредоточенными контурами и приемник с сосредоточенной избирательностью, заметит раз-

ницу в качестве приема передач. Фильтр сосредоточенной избирательности можно сконструировать в виде параллельных *LC*-контуров, связанных между собой при помощи последовательных резонансных контуров. Такое звено фильтра обладает очень хорошими свойствами, но для его настройки нужен или генератор стандартных сигналов с точной настройкой, или еще лучше генератор качающейся частоты. Если используются электромеханические фильтры, то избирательность и частота заданы, остается только правильно согласовать фильтр с транзисторами. Усилитель в этом случае апериодический, только перед детектором включается резонансный контур, что позволяет произвести согласование входного сопротивления детектора. УПЧ с сосредоточенной избирательностью, однако, имеет один важный недостаток. Он не может быть использован в комбинированных приемниках для приема амплитудной и частотной модуляции. Поэтому он не получил такого широкого распространения, как хотелось бы.

Промежуточную частоту обычно выбирают в диапазоне 450—470 кГц. Оптимальной считается такая промежуточная частота, которая составляет не более десятой части принимаемой частоты. Промежуточная частота, используемая в бытовых радиоприемниках, пригодна с точки зрения приема по зеркальному каналу до коротковолнового диапазона 49 м (6 МГц). На более высоких частотах проявляется уже прием по зеркальному каналу, который значительно ухудшает качество прослушивания. Ослабить прием по зеркальному каналу можно двумя способами. Или используется резонансный усилитель перед смесителем, или выбирается более высокая промежуточная частота; можно также использовать двойное преобразование частоты. На первой, более высокой промежуточной частоте, устраняются зеркальные частоты, а на втором добиваются требуемой избирательности. Недостатком такого решения является наличие затруднений с гармоническими частотами второго гетеродина, которые входят в диапазон принимаемых частот и создают пораженные точки приема.

Автоматическая регулировка усиления (АРУ). В принципе имеются две возможности: управлять режимом первого транзистора усилителя промежуточной частоты (или УВЧ) или использовать диоды, демпфирующие фильтр ПЧ. В первом случае каждый управляемый транзистор должен был бы иметь свойства, подобные свойствам лампы с переменной крутизной, т. е. его усиление должно меняться в зависимости от тока эмиттера. Такие транзисторы не выпускаются, но можно подобрать подходящий из числа транзисторов второго сорта. Выбор производится по зависимости падения усиления тока от тока базы. Зарубежные фирмы планируют производство транзисторов, обеспечивающих АРУ в радиоприемниках и телевизорах. Во втором случае диоды демпфируют первый трансформатор ПЧ. Однако, так как детекторный каскад не в состоянии обеспечить эти диоды необходимой мощностью, первый транзистор УПЧ используется также в качестве усилителя постоянного напряжения для АРУ. У обоих способов есть свои преимущества и недостатки, однако в новейших заграничных приемниках демпфирующие диоды почти не встречаются.

Детектирование. Демодулирующий каскад супергетеродинного приемника чаще всего выполняется как диодный детектор, отличающийся простотой и хорошей линейностью. Результатом детектирования кроме низкой частоты является также постоянная составляю-

щая, которая пропорциональна уровню принимаемого сигнала и может быть использована для АРУ. Диоды выбираются германиевые, так как у них бóльшая чувствительность. Диоды работают со смещением, что увеличивает эффективность детектирования слабых сигналов. В некоторых заграничных устройствах используется в качестве диода переход база — эмиттер транзистора, а коллекторная цепь служит усилителем постоянного напряжения АРУ. С точки зрения входного сопротивления такая схема не отличается от схемы с диодами. Только функцию диода детектора и усилителя постоянного напряжения выполняет один элемент.

45. РАСЧЕТ РЕЗОНАНСНЫХ КОНТУРОВ

При расчете резонансной частоты LC-контура используется формула Томпсона

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}},$$

где f в Гц; L в Г; C в Ф.

Преобразуем это выражение:

$$f^2 = \frac{25\,330}{LC},$$

где f в МГц; L в мкГ; C в пФ.

При расчете перестраиваемого контура нас будет также интересовать максимальный коэффициент перекрытия по частоте контура с конденсатором, предельные значения емкости которого $C_{мин}$ и $C_{макс}$. На практике $C_{мин}$ увеличивается за счет емкости подводящих проводов и собственной емкости транзистора, которые уменьшают диапазон перестройки. Эти же емкости прибавляются и к $C_{макс}$. Если не требуется большой диапазон перестройки и конденсатор настройки снабжается дополнительным параллельным подстроечным конденсатором, то паразитные емкости монтажа могут быть учтены им при регулировке сопряжения контуров.

Коэффициент перекрытия по частоте рассчитаем по

$$p = \frac{f_{макс}}{f_{мин}} = \sqrt{\frac{C_{макс}}{C_{мин}}}.$$

В радиовещательных приемниках максимальное значение p встречается во входной цепи для диапазона средних волн, оно равно 3. Его можно с запасом получить, используя конденсатор 500 пФ ($C_{мин}$ примерно 55 пФ).

Используя меньшую емкость $C_{макс}$, можно добиться такого же значения p при меньшем $C_{мин}$. Емкость $C_{макс}$ может иметь минимальное значение 250 пФ.

При расчете и выполнении катушки, если используются ферритовые сердечники или сердечники из карбонильного железа, справедливо эмпирическое выражение

$$L = kz^2,$$

где k — так называемый коэффициент сердечника, он зависит от использованного материала, его формы и способа намотки; L — индуктивность, мкГ; z — число витков катушки.

Коэффициент k можно определить из следующих соотношений:

$$k = \frac{L}{100} \text{ для 10 витков; } \quad k = \frac{L}{10\,000} \text{ для 100 витков.}$$

Наиболее точные результаты этот способ дает в том случае, когда число витков измеряемой катушки близко к числу витков действительно необходимой катушки. Физический смысл этого выражения заключается в том, что коэффициент k представляет собой индуктивность одного витка на сердечнике данного типа. Но это только теоретически, так как из-за поля рассеяния самые большие отклонения от представленной формулы имеют место как раз при небольшом числе витков, расположенных далеко друг от друга.

При изготовлении катушки на сердечник наматывается определенное число витков z_1 и измеряется индуктивность этой катушки. Если сердечник с подстроечником, то он должен быть в среднем положении; в этом случае искомое число витков z_x катушки и индуктивность L_x можно рассчитать по формуле

$$z_x = z_1 \sqrt{\frac{L_x}{L_1}}.$$

Во всех трех формулах может быть использована и другая единица измерения индуктивности, например миллигенри, так как коэффициент k измеряется в тех же единицах, что и индуктивность.

46. РАСЧЕТ СОПРЯЖЕНИЯ КОНТУРОВ

Из принципа действия супергетеродинного приемника следует, что частоты контуров входной цепи и гетеродина отличаются на промежуточную частоту (рис. 35). Отсюда вытекает необходимость выпол-

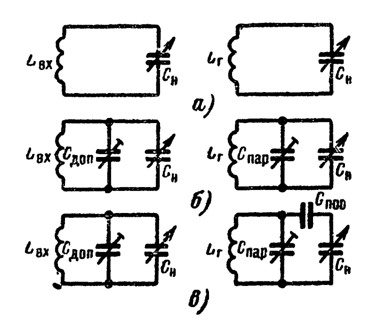


Рис. 35. Схемы сопряжения настройки входного и гетеродинного контуров.

а — в одной точке; *б* — в двух точках; *в* — в трех точках.

нения такой системы настройки, которая бы обеспечила как можно более точное сопряжение настроек этих контуров. Не будем рассматривать механические способы сопряжения при помощи специаль-

ных зависимостей изменения емкости от угла поворота оси блока конденсаторов настройки. Обратимся к электрическому сопряжению, получившему широкое распространение, из-за необходимости обеспечения приема в нескольких диапазонах при одном и том же конденсаторе переменной емкости, у которого характер изменения и значение емкости всех секций одинаковы.

Сопряжение можно осуществить в нескольких точках. На практике это обычно одна — три точки. Большее число точек из-за сложности реализации используется только в профессиональных приемниках для радиосвязи.

Сопряжение в одной точке реализуется при помощи двух неодинаковых катушек и используется только при небольших перестройках, например внутри растянутых диапазонов. Не рекомендуется использовать при p бо́льших, чем 1,1.

Сопряжение в двух точках реализуется при помощи двух неодинаковых катушек и двух неодинаковых конденсаторов, параллельных секциям конденсатора настройки. Подобное сопряжение не рекомендуется применять для перестройки при коэффициенте перекрытия более 1,5. Такое сопряжение может быть использовано при бо́льших перестройках только в случае выбора низкой промежуточной частоты, когда отношение входных частот $f_{макс}$ и $f_{мин}$ примерно равно отношению $f_{г\,макс}$ и $f_{г\,мин}$ гетеродина, что обычно имеет место в радиоприемнике в диапазоне 6—18 МГц. В этом диапазоне можно использовать двухточечное сопряжение также потому, что относительная полоса пропускания входных устройств шире, чем для более низкочастотных диапазонов и неточность сопряжения не окажет существенного влияния на чувствительность приемника.

Сопряжение в трех точках реализуется при помощи двух неодинаковых катушек, неодинаковых параллельных конденсаторов. а в контуре гетеродина кроме того подключением последовательно с конденсатором настройки дополнительного конденсатора постоянной емкости. Это наиболее распространенный метод сопряжения; он пригоден еще при $p=3$.

Сопряжение в большем числе точек реализуется при помощи сложных контуров, поэтому в бытовых изделиях оно не используется.

Для расчета сопряжения важно правильно выбрать частоту в точках сопряжения. Если в контуре имеется x независимо переменных элементов (катушки и конденсаторы, за исключением конденсатора настройки), то можно добиться точного сопряжения в x точках. Теоретически эти x точек могут быть произвольно размещены в перестраиваемом диапазоне. На практике требуется, чтобы отклонения от точного сопряжения были как можно меньше. Выбор точек сопряжения оказывает влияние на максимальные отклонения от точного сопряжения. Этому требованию лучше всего отвечает такое расположение точек сопряжения, которое соответствует нулевым точкам полинома Чебышева. Степень полинома выбирается в соответствии с числом точек сопряжения.

При сопряжении в двух точках используется полином второй степени. Расчет будет подробно описан в главе о приемниках ЧМ. При трехточечном сопряжении используется третья степень.

Основным условием справедливости нижепредставленных расчетов является применением гетеродина, частота которого на промежуточную частоту выше частоты принимаемого сигнала. При реализации нужно учесть допуски значений элементов и неточности значе-

ния емкости конденсатора настройки; нужно обеспечить возможность подстройки также последовательного конденсатора и возможность настройки контура во всех трех рассчитанных точках.

Расчет сопряжения в трех точках. Существует много методов расчета трехточечного сопряжения. Для наших целей будет выгодно использовать метод расчета Термана, который не очень распространен, но выгоден главным образом потому, что позволяет производить расчеты на вычислительных машинах. Можно рекомендовать также графоаналитический метод Telefunken, представленный в книге V. Hoffner «Смесители и гетеродины» (СНТЛ, 1964).

Метод Термана. Сопряжение достигается в трех точках: f_1, f_2, f_3. Обозначив крайние точки настройки $f_{макс}$ и $f_{мин}$, выразим через них

$$f_1 = \frac{4f_2 - 3(f_{макс} - f_{мин})}{4};$$

$$f_2 = \frac{f_{макс} + f_{мин}}{2};$$

$$f_3 = \frac{4f_2 + 3(f_{макс} - f_{мин})}{4}.$$

Эти точки являются точками сопряжения. Далее рассчитываются вспомогательные коэффициенты:

$$x = f_1 + f_2 + f_3;$$

$$y = f_1 f_2 + f_1 f_3 + f_2 f_3;$$

$$z = f_1 f_2 f_3$$

и подставляются в выражения

$$a = \frac{y(x + 2f_{пр}) - z}{2f_{пр}};$$

$$b = a + f_{пр}^2 + x(x + 2f_{пр}) - y^2;$$

$$c = \frac{z(x + 2f_{пр}) + f_{пр}^2 a}{b},$$

где $f_{пр}$ — промежуточная частота. Все значения частот подставляются в мегагерцах!

Емкости $C_{пос}$, $C_{пар}$ и индуктивность $L_г$ рассчитываются по формулам

$$C_{пос} = \frac{C_{1\,макс} f_{мин}^2}{c};$$

$$C_{пар} = \frac{C_{1\,макс} f_{мин}^2}{a - c};$$

$$L_г = L_{вх} \frac{a}{b} \frac{C_{пос}}{C_{пос} + C_{пар}}.$$

Емкости выражены в пикофарадах, индуктивность — в микрогенри.

Конструкция контуров настройки. Конденсаторы настройки с воздушным диэлектриком, подстроечные конденсаторы тоже воздушные или керамические. Конденсаторы постоянной емкости керамические, серого цвета из материала Stabilit [1].

Катушки до 25 мкГ наматываются в один ряд, от 25 мкГ до 1 мГ используется перекрестная намотка на катушки с сердечниками из карбонильного железа или с использованием броневых сердечников; катушки свыше 1 мГ в основном наматываются на каркасах, помещаемых в броневых сердечниках из карбонильного железа или феррита.

Намотка ферритовых антенн для средних волн рекомендуется виток к витку в один ряд, как можно ближе к центру стержня, для длинных волн перекрестная намотка на одном конце стержня. Если желательно ферритовую антенну использовать и для коротких волн, то катушка наматывается с интервалом между витками, а материал стержня должен быть высокочастотным.

47. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ РАДИОПРИЕМНИКА

Напряжения питания, В	12
Габариты, см	7,5×7,5×3,5
Промежуточная частота, кГц . . .	468
Входная частота	150 кГц — 16 МГц в зависимости от блока настройки
Число резонансных контуров . . .	5 (может быть использован электромеханический фильтр)
АРУ	За счет изменения рабочей точки 1-го каскада УПЧ, а также имеется возможность изменения смещения УВЧ
Число транзисторов	3 типа *n-p-n*
Максимальная чувствительность со входа транзистора T_1	200 мкВ для 100 мВ напряжения НЧ на выходе детектора; зависит от свойств используемых транзисторов, с кремниевыми можно добиться вдвое большей чувствительности
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	50

[1] Из керамики групп М47 или М75. (*Прим. ред.*)

48. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Приемник АМ* (рис. 36) можно разделить на две части. В первую входит набор катушек и элементы настройки, которые определяют границы диапазонов и их растянутость. Вторая часть более или менее одинакова у всех приемников. Это смеситель, гетеродин, иногда и УВЧ, усилитель ПЧ, детектор со вспомогательными цепями (АРУ, *S*-метр).

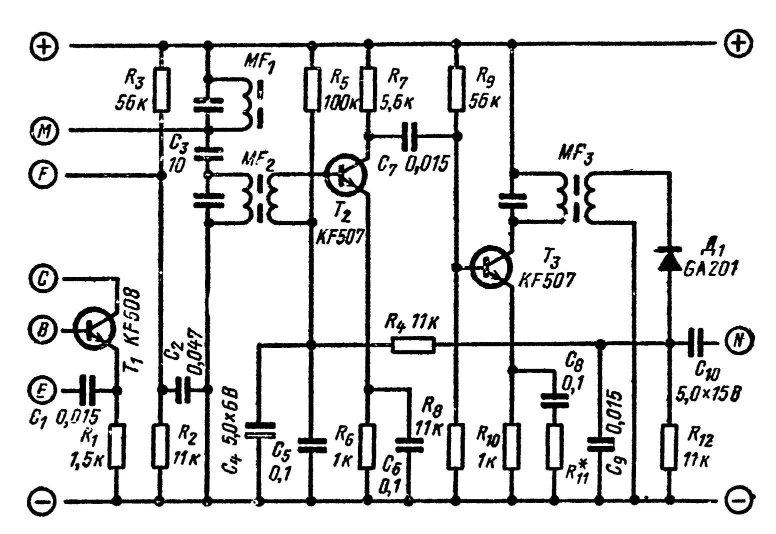


Рис. 36. Приемник АМ — принципиальная схема.

Для модульного решения, которое должно быть универсальным, более выгодно вторую часть приемника конструировать самостоятельно, а не на одной плате с набором катушек и элементами настройки приемника.

В приемнике используется преобразователь частоты с объединенным смесителем и гетеродином, далее следует усилитель ПЧ и диодный детектор. Включение транзистора T_1 таково, что можно осуществить различное подключение входных устройств. Поэтому может быть использован любой блок настройки. Отдельные выводы базы коллектора и цепей смещения позволяют осуществить любое подключение гетеродина и для диапазона КВ. Избирательность осуществляется между коллектором транзистора T_1 и базой транзистора T_2. Используется принцип сосредоточенной избирательности; предлагаемая схема позволяет использовать полосовые фильтры классического *LC*-типа с емкостной связью или электромеханический фильтр. АРУ работает на принципе изменения рабочей точки и включена так, что в случае необходимости может питать цепь смещения УВЧ. Усилитель ПЧ апериодический с емкостной связью между транзисторами T_1 и T_3. Для обеспечения лучшего согласования транзисторов T_2 и T_3, включенных по схеме с ОЭ, в цепи эмиттера T_3 использована отрицательная обратная связь в виде *RC*-цепи, кото-

рая увеличивает входное сопротивление этого транзистора. Одновременно при помощи этой цепи можно установить необходимое усиление УПЧ в зависимости от параметров используемых транзисторов.

Рабочая точка транзистора T_1 устанавливается при помощи делителя напряжения R_2 и R_3; вместе с эмиттерным сопротивлением R_1 это, собственно говоря, обычная схема стабилизации рабочей точки. База транзистора T_1 подключается к делителю через обмотку связи с входным контуром или контуром гетеродина. Первый фильтр ПЧ подключен к плюсу напряжения питания, к выводам C и M подсоединяется обмотка связи гетеродина. Полосовой фильтр с емкостной связью составляют два LC-контура от приемника TESLA Lunik. Меняя емкость C_3, можно менять форму кривой пропускания фильтра. Чем меньше емкость, тем уже полоса пропускания. Для наших целей желательно между контурами установить сверхкритическую связь; провал в характеристике может быть скомпенсирован одиночным резонансным контуром в коллекторной цепи T_3. Транзистор T_2 включен как апериодический усилитель с возможностью регулировки усиления при помощи изменения коллекторного напряжения и напряжения смещения. Ток, протекающий через транзистор, определяется, во-первых, током, протекающим через резистор R_5, а во-вторых, воздействием АРУ через резистор R_4. Направления токов противоположны, и их разница управляет транзистором, его рабочей точкой и, следовательно, усилением. При помощи резистора R_6, шунтированного для переменного тока конденсатором C_6, устанавливается рабочая точка транзистора с учетом влияния цепи АРУ. Сигнал ПЧ с фильтра MF_2 при помощи обмотки связи подается на базу транзистора T_2. Резистор R_7 является сопротивлением нагрузки усилителя, связь между транзисторами T_2 и T_3 емкостная через конденсатор C_7. Транзистор T_3 работает на LC-фильтр MF_3, его рабочая точка стабилизирована включением резисторов R_8, R_9 и R_{10}. В эмиттерной цепи имеется цепь отрицательной обратной связи C_8, R_{11}, ограничивающая усиление транзистора T_3. Она уменьшает искажения при больших сигналах, согласовывает транзисторы T_2 и T_3 и способствует стабильной работе всего приемника. С обмотки связи MF_3 сигнал подводится к диоду; резистор R_{12} является сопротивлением нагрузки детектора для сигнала НЧ, одновременно на нем возникает постоянная составляющая, которая прямо пропорциональна уровню принимаемого сигнала. Для ВЧ составляющей напряжения сигнала после детектирования конденсатор C_9 представляет короткое замыкание. Постоянную времени АРУ определяет цепь R_4, C_4. Конденсатор C_5 служит для блокировки цепи АРУ для токов ВЧ. Сигнал НЧ выводится через вывод N. В такой схеме сопротивление нагрузки между выводами N и «—» должно быть более 50 кОм, только в этом случае будет обеспечена хорошая эффективность детектирования и АРУ.

Схема универсальна с точки зрения использования германиевых и кремниевых транзисторов. Поэтому здесь применена стабилизация рабочих точек, которая для кремниевых транзисторов не нужна.

В качестве T_1 лучше всего использовать KF124 или KF524, подойдет и KF506 — KF508. Для приемника на СВ и ДВ можно взять 156NU70.

В качестве транзисторов ПЧ на месте T_2 подойдут KF124, KF524, KF508 или германиевый 156NU70. Вместо T_3 можно также использовать KC507 — KC509. Диод $Д$ — германиевый, лучше всего серии GA200.

49. КОНСТРУКЦИЯ РАДИОПРИЕМНИКА

Схема собрана на печатной плате 7,5×7,5 см (рис. 37). Внешние цепи подсоединяются при помощи проводов. Использование разъемов нецелесообразно с точки зрения стабильности (см. рис. П-9). Перед сборкой схемы транзисторы проверяются, и в качестве T_2 выбирается такой, у которого усиление по току $h_{21э}$ падает пропорционально

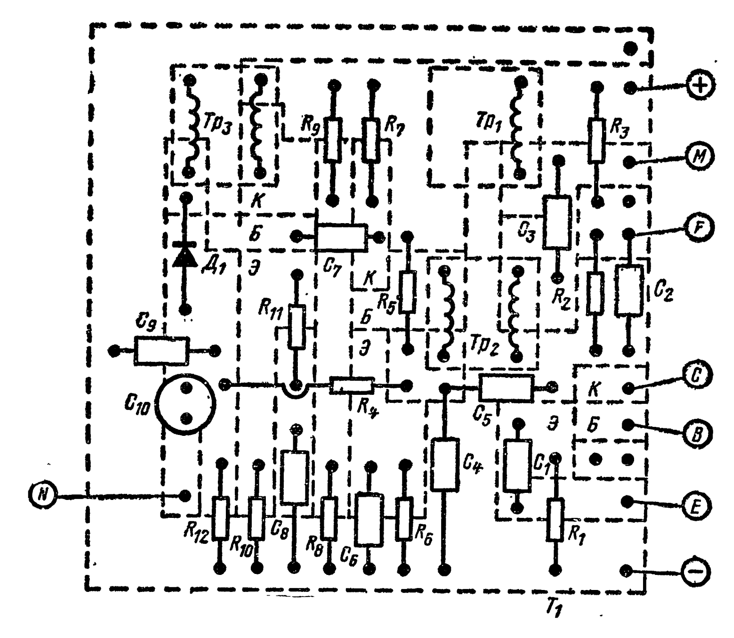


Рис. 37. Приемник АМ — размещение элементов.

но изменению тока эмиттера. Проверяется ток утечки конденсатора C_4, который мог бы ограничить эффективность АРУ, обратный ток диода детекторного каскада и электрическое сопротивление фильтров. Перед сборкой ослабляются винты экранов фильтров ПЧ, чтобы в случае необходимости при настройке их можно было снять. Выводы транзисторов и диоды залуживаются, при пайке тепло отводится при помощи пинцета, не рекомендуется использовать панельки для транзисторов, исключение составляют специальные конструкции; если радиоприемник предназначен для использования в автомобиле, то в нем не должен проявляться микрофонный эффект, который бывает при плохом контакте или длинных и подвижных проводах.

50. НАСТРОЙКА ПРИЕМНИКА

Выводы *C*, *M* и *B*, *F* соединяются. Приемник через миллиамперметр подключается к источнику напряжения 12 В и измеряется ток, который должен быть меньше 10 мА.

Следующая проверка производится при помощи осциллографа, который подключается к обмотке связи MF_3. Сопротивлением резистора R_{11} устанавливается такое усиление приемника, чтобы он не возбуждался и при подаче сигнала промежуточной частоты через конденсатор C_{11} на эмиттер транзистора T_1 не возникала генерация. Если нет осциллографа, то можно воспользоваться электронным вольтметром. Измеряется напряжение на резисторе R_{12}. При замыкании через конденсатор 0,1 мкФ базы транзистора T_3 на общий провод напряжение на резисторе R_{12} не должно меняться. Если это напряжение падает, значит, усилитель имеет склонность к самовозбуждению и нужно уменьшить усиление пары транзисторов T_2 и T_3.

Настройка приемника производится с помощью тех же приборов. Через конденсатор C_1 подается напряжение от генератора стандартных сигналов, без модуляции, частота 468 кГц. К резистору R_{12} подключается вольтметр с пределами измерения 1—3 В и внутренним сопротивлением больше 50 кОм/В, лучше всего электронный вольтметр. Используется самый слабый сигнал, чтобы исключить действие АРУ. Сердечники фильтров ПЧ регулируются по максимальному отклонению стрелки вольтметра. Если выбрана сверхкритическая связь полосового фильтра, то контур, который в данный момент не настраивается, нужно демпфировать RC-цепочкой, где $R=5$ кОм, $C=$ $=0,1$ мкФ. Этой последовательной цепочкой закорачивают по высокой частоте настроенный контур. Оптимальный режим АРУ устанавливается при помощи резистора R_5. Значение его сопротивления выбирается так, чтобы АРУ не работала при слабых сигналах у порога чувствительности. Эффективность АРУ можно контролировать измерением зависимости постоянной составляющей сигнала на резисторе R_{12} от входного напряжения. Наконец, расстраивая генератор стандартных сигналов, проверяют, симметрична ли полоса пропускания фильтров по обе стороны от частоты 468 кГц.

51. КОНТУРЫ НАСТРОЙКИ РАДИОПРИЕМНИКА

Учитывая цены качественных конденсаторов настройки, нецелесообразно блок настройки собирать самим, если конструируется приемник с обычными диапазонами. Автор испробовал много вариантов подключения блоков настройки приемников TESLA T61 — T63 (рис. 38) и получил хорошие результаты. В принципе их можно использовать тремя способами. Лучше всего транзистор OC170 заменить транзистором KF124, изменить полярность питания, контуры гетеродина переключить на транзистор T_1 нашей схемы, где нужно также соединить выводы C, M и B, F. Транзистор KF124 используется в качестве усилителя с сопротивлением нагрузки 1 кОм в цепи коллектора. Базу транзистора T_1 через конденсатор подключаем к коллектору этого транзистора в готовом блоке. Такое включение на средних и длинных волнах приносит значительное повышение чувствительности, на коротких волнах ограничивает срыв колебаний гетеродина входным контуром. Вторая и третья возможности использования блока настройки предполагают изменение полярности питания блока, транзистор заменяется высокочастотным кремниевым транзистором KF124 или KF524, KF506 — KF508 и т. д. Транзистор на плате может быть использован в качестве отдельного гетеродина (T_1), а в качестве смесительного транзистора тогда будет использован транзистор в блоке настройки. В самом простом случае на плате не включается

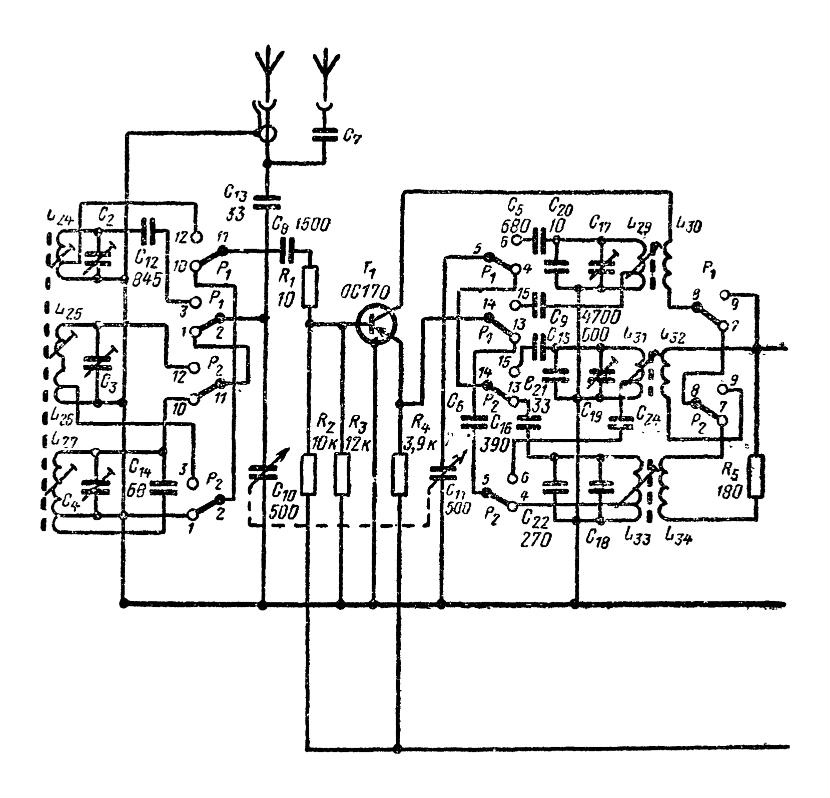


Рис. 38. Схема блока настройки TESLA T61 ($C_6 = 22$ нФ, $C_{24} = 10$ нФ).

транзистор T_1 и она используется как усилитель ПЧ для блока настройки, т. е. необходимость в резисторах $R_1 - R_3$ и конденсаторах C_1 и C_2 отпадает. Преобразователь частоты будет размещен прямо в блоке настройки.

В случае конструирования блока настройки для других диапазонов можно воспользоваться расчетами, представленными в теоретической части этой главы.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

РАДИОПРИЕМНИК ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

В течение последних десяти лет широкое распространение получила следующая схема транзисторного приемника: сигнал с антенны подается на широкополосный контур, с которым связан транзистор УВЧ, включенный по схеме ОБ. Второй транзистор работает как пре-

образователь, для настройки используется двухсекционный конденсатор переменной емкости, которым настраивается коллекторная цепь первого транзистора и гетеродин. Усилитель ПЧ трехкаскадный с резонансными LC-контурами, за ним следует дробный детектор на германиевых диодах. Такая схема является минимальной схемой, которую можно использовать для приема частотно-модулированного сигнала.

52. ОТДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО ПРИЕМНИКА И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Входные цепи. Входной блок супергетеродинного приемника УКВ должен обеспечить достаточное значение отношения сигнал/шум перед поступлением сигнала в смеситель. Он содержит один или два транзистора; в первом случае транзистор включен по схеме ОБ, резонансный контур в коллекторной цепи, сигнал подается на эмиттер. Во втором случае используется транзисторный вариант схемы, известный в электронной технике под названием каскодный усилитель. Первый транзистор включен с общим эмиттером, второй с общей базой.

Такое включение пары транзисторов не нуждается в нейтрализации и имеет достаточное усиление. Учитывая сравнительно высокое входное сопротивление первого транзистора, включенного по схеме ОЭ, на входе можно включить резонансный контур, что приведет к увеличению избирательности по зеркальному каналу и чувствительности приемника. Для настройки используется трехсекционный переменный конденсатор. Входной усилитель должен быть выполнен на транзисторе с малым коэффициентом шума и с достаточно высокой граничной частотой. Лучше всего подходит мезатранзистор. Из чехословацких можно использовать типы GF505, GF506 и GF507, из заграничных AF106, AF139 или AF239. В высококачественных приемниках используются кремниевые транзисторы или полевые транзисторы; однако в ЧССР транзисторы с необходимыми свойствами (главным образом это касается граничной частоты $f_т$) пока не включены в производственную программу.

Смеситель и гетеродин. В высококачественных приемниках используются два транзистора, смеситель по схеме ОЭ, гетеродин по схеме ОБ. С гетеродина сигнал обычно подается на эмиттер смесителя. Гетеродин подстраивается цепью автоматической подстройки частоты (АПЧГ) при помощи варикапа, напряжение питания которого стабилизировано. Остальные приемники используют преобразователь, работающий для входного сигнала по схеме ОБ. И здесь можно использовать АПЧГ при помощи варикапа. Транзистор смесителя должен выбираться с учетом коэффициента шума, подойдут мезатранзисторы GF505 или GF506, в крайнем случае и GF514, GF515, GF516. Из заграничных AF106, AF139, AF124, AF125. Высококачественные заграничные приемники используют кремниевые транзисторы, в ЧССР выпускается транзистор KF525, предназначенный для работы в качестве смесителя на УКВ.

Новинкой за рубежом является варикапная настройка. Ее используют многие фирмы, так как возможен предварительный выбор нескольких станций при помощи потенциометров Использование чехословацких варикапов KA204 дает посредственные результаты из-за

значительного разброса параметров. Кроме того, в продаже нет потенциометров с достаточно стабильными свойствами, которые можно было бы использовать для плавной или предварительной настройки.

Усилитель ПЧ. Для радиовещания на УКВ используется частотная модуляция с девиацией частоты ±50 кГц на пиках сигнала. Для обеспечения неискаженной передачи нужно, чтобы ширина полосы пропускания приемника была не менее 200 кГц для монофонического и 300 кГц для стереофонического сигналов согласно норме FCC, используемой в ЧССР. Поэтому должна быть выбрана такая промежуточная частота, на которой можно реализовать требуемую ширину полосы пропускания. В настоящее время в Европе используется частота 10,7 МГц, удовлетворяющая приему в диапазоне CCIR и OIRT* с точки зрения избирательности как по соседнему каналу, так и по зеркальному каналу (это отношение уровня сигнала на зеркальной частоте к уровню сигнала на требуемой частоте). Для получения необходимой фазовой характеристики нужно использовать полосовые фильтры со связью, близкой к критической. Необходимое усиление и ограничение обеспечит трехкаскадный усилитель. Такой усилитель можно комбинировать с ВЧ частью АМ приемника. АМ смеситель используется в качестве первого УПЧ частотно-модулированного сигнала, два других транзистора работают усилителями обеих промежуточных частот. Такая схема используется в чехословацких приемниках Dolly, Havana и Twist.

В некоторых высококачественных заграничных радиоприемниках для достижения малых искажений при детектировании начали использовать диодно-транзисторные интеграторы; такой детектор не содержит катушек индуктивности и вносит искажения менее 0,1%. Его можно реализовать на частотах до 500 кГц. Поэтому промежуточная частота выбирается около 300 кГц, усилитель резистивный, избирательность определяется затуханием фильтра нижних частот на входе усилителя и затуханием в элементах связи. Учитывая необходимость обеспечения избирательности по зеркальному каналу, используют двойное преобразование частоты, в качестве первой промежуточной частоты выбирается 10,7 МГц, для этой частоты достаточно однокаскадного усилителя. Второй смеситель может быть совмещенным, лучше всего с гетеродином, стабилизированным кварцем. Далее следует фильтр сосредоточенной избирательности и апериодический усилитель. Этот принцип детектирования используется и в некоторых простых радиоприемниках с одной промежуточной частотой около 250 кГц.

В УПЧ могут быть использованы германиевые транзисторы GF514, GF515 и GF516 или кремниевые KF524, из заграничных, например, BF194 или германиевые AF124, AF125, AF126. Для промежуточной частоты около 300 кГц должны быть использованы кремниевые транзисторы, подойдут, например, KC507, KC508.

Детектор. В принципе можно использовать две схемы. Для промежуточной частоты 10,7 МГц чаще всего используется дробный детектор, обладающий хорошими ограничивающими свойствами. Для хорошей балансировки детектора нужно подбирать пары германиевых диодов и дополнять их последовательным переменным резистором.

---

* CCIR — Западно-Европейский стандарт (87,5—104 МГц), OIRT — Восточно-Европейский стандарт, принятый в СССР и социалистических странах (66—73 МГц). (*Прим. ред.*)

Если используется двойное преобразование частоты, то детектирование производится при помощи диодно-транзисторного интегратора, который представляет собой линейный преобразователь частоты в напряжение, широко используемый в измерительной и вычислительной технике. Такая схема при правильном выборе постоянной времени *RC*-цепи позволяет получить искажения около 0,1%. Схема благодаря своей линейности особенно пригодна для стереофонического приема, при котором диапазон модулирующих частот расширяется с 15 до 53 кГц.

В обеих схемах детектирования при приеме монофонического сигнала необходимо после детектора подключать интегрирующую цепь с постоянной времени 50 мкс, это позволяет компенсировать такой же подъем на высоких частотах в модуляторе передатчика; кроме того, достигается лучшее отношение сигнал/шум в верхней части модуляционного спектра. При приеме стереофонического сигнала эта цепь отключается, чтобы на декодер могли пройти пилот-тон и разностная составляющая стереофонического сигнала на вспомогательной частоте 38 кГц, которая подавляется при передаче и восстанавливается при приеме в декодере. Комбинированный АМ/ЧМ приемник нельзя рекомендовать для изготовления радиолюбителям. Единственная выгода заключается в экономии трех транзисторов, тогда как переключатель диапазонов значительно усложняется за счет дополнительных контактов для переключения промежуточной частоты, АРУ, детекторов, питания. Комбинированный УПЧ кроме контуров промежуточной частоты 468 кГц должен иметь контуры промежуточной частоты 10,7 МГц или 6,5 ГМц. Вся схема довольно сложна и является компромиссом между требованиями, предъявляемыми к усилителю ПЧ со стороны АМ и ЧМ. Учитывая цены радиодеталей, можно рекомендовать выполнять оба типа приемника отдельно, а переключать только питание и низкочастотный выход. Такое решение не будет намного дороже даже в случае использования кремниевых транзисторов. Поэтому в нашей модульной системе ЧМ приемник был решен самостоятельным модулем с использованием новых принципов в схеме УПЧ, которые не требуют каких-либо особых приборов для налаживания, а, кроме того, имеется возможность приема стереофонических передач.

Так как качественная настройка декодера стереофонического сигнала довольно трудна и нужно использовать генератор стереофонического сигнала или хотя бы передачу измерительных тестов, автор предлагает воспользоваться готовым блоком фирмы TESLA, цена которого приблизительно равна стоимости необходимых для него деталей. Это декодер TSD3A, используемый в приемнике TESLA533A Stereodirigent. Этот декодер годится для нашей системы еще и потому, что у него имеется вывод сигнала индикации, дающий напряжение, достаточное для управляющего устройства модульной системы. Кроме того, удобно то, что этот декодер предназначен для приемников с общим отрицательным полюсом напряжения питания. Единственным недостатком является необходимость обеспечить напряжение питания декодера 200 В, но так как потребляемый ток не превышает 4 мА, то такой источник можно легко изготовить.

53. РАСЧЕТ СОПРЯЖЕНИЯ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ И КОНТУРА ГЕТЕРОДИНА ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО ПРИЕМНИКА

Для расчета индуктивности и емкости элементов резонансных контуров воспользуемся формулой Томпсона

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

которую преобразуем в более удобную для расчетов

$$f^2 = \frac{25\,330}{LC},$$

где f в МГц; L в мкГ; C в пФ.

Сопряжение для обоих диапазонов, используемых в радиовещании на УКВ (согласно нормам CCIR и OIRT), рассчитывается в двух точках диапазона, потому что коэффициент перекрытия по частоте p, рассчитанный по формуле

$$p = \frac{f_{макс}}{f_{мин}},$$

для диапазона CCIR (87,5—104 МГц) равен $p = \frac{104}{87{,}5} = 1{,}19$, для диапазона OIRT (66—73 МГц) равен $p = \frac{73}{66} = 1{,}11$ и в обоих случаях меньше 1,5.

Для расчета входных цепей нужно знать емкость $C_{макс}$ и $C_{мин}$ конденсатора настройки. Допустимый коэффициент перекрытия по емкости:

$$p^2 = \frac{C_{макс}}{C_{мин}},$$

где к емкости конденсатора должна быть добавлена емкость монтажа и транзисторов. Если результирующая емкость получится больше, чем рассчитанная для заданного диапазона, то параллельно конденсатору настройки подключается дополнительный конденсатор необходимой емкости.

Если коэффициент перекрытия по емкости конденсатора меньше рассчитанного, то нужно использовать другой конденсатор настройки. По формуле Томпсона можно рассчитать индуктивность $L_{вх}$ входного контура

$$L_{вх} = \frac{25\,330}{f_{мин}\,C_{макс}},$$

где L в мкГ; f в МГц; C в пФ.

Точки сопряжения определяются исходя из аппроксимации Чебышева. Частоты f_1 и f_2 получим из

$$f_1=\frac{f_{макс}+f_{мин}}{2}-\frac{f_{макс}-f_{мин}}{4}\sqrt{2};$$

$$f_2=\frac{f_{макс}+f_{мин}}{2}+\frac{f_{макс}-f_{мин}}{4}\sqrt{2}.$$

Далее по формуле Томпсона рассчитаем емкости C_1 и C_2, это емкости цепи настройки в точках сопряжения f_1 и f_2

$$C_1=\frac{25\,330}{f_1^2\,L_{вх}};$$

$$C_2=\frac{25\,330}{f_2^2\,L_{вх}}.$$

Частоты гетеродина в точках сопряжения:

$$f_{1г}=f_1+f_{пр};$$

$$f_{2г}=f_2+f_{пр},$$

где $f_{пр}$ — промежуточная частота.

Этот расчет предполагает, что частота гетеродина на величину промежуточной частоты выше частоты настройки входного контура. Зная частоты $f_{1г}$ и $f_{2г}$, значения емкости конденсаторов настройки C_1 и C_2 и при условии, что секции конденсатора настройки одинаковы, можно рассчитать индуктивность гетеродина $L_г$ и емкость $C_{пар}$:

$$L_г=\frac{25\,330}{f_{1г}^2\,(C_1+C_{пар})};$$

$$L_г=\frac{25\,330}{f_{2г}^2\,(C_2+C_{пар})}.$$

Получаем два уравнения с двумя неизвестными $L_г$ и $C_{пар}$; вычитая одно уравнение из другого, получаем выражение для емкости:

$$C_{пар}=\frac{C_1\,f_{1г}^2-C_2\,f_{2г}^2}{f_{2г}^2-f_{1г}^2},$$

где C в пФ; f в МГц.

Данное значение $C_{пар}$ подставляем в любое из двух уравнений и получаем значение индуктивности $L_г$.

Частоты f_1 и f_2 используются для точного сопряжения входных и гетеродинных контуров.

Конструкция контуров приемника. Конденсаторы настройки должны быть воздушные, с массивными пластинами, так как от это-

го зависит частотная стабильность приемника. Катушки лучше всего воздушные или на каркасах с алюминиевым подстроечным сердечником. Лучшим способом подстройки является растягивание или сжимание витков катушки. Намотка производится медным посеребренным проводом, оптимальная толщина 1 мм. В качестве изоляционного материала каркасов катушек может быть использована керамика или полиэтилен, иногда стекло. Подстроечные конденсаторы лучше всего стеклянные или керамические с нанесенным серебром. Контурные конденсаторы постоянной емкости керамические из материала Stabilit. Нужно обеспечить жесткость их монтажа. Если для настройки используются варикапы, то нужно тщательно стабилизировать напряжение питания, так как любые его колебания вызывают возникновение паразитной частотной модуляции.

54. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПРИЕМНИКА

Напряжения питания, В	12
Габариты, см	7,5×7,5×4
Промежуточная частота	Первая 10,7 МГц; вторая 300 кГц
Входной диапазон	OIRT или CCIR
Число транзисторов	6
Число резонансных контуров	3 в усилителях ПЧ
Чувствительность со входа транзистора T_1, мкВ	10
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	50
Выходное напряжение, мВ . .	Около 50
Минимальная ширина полосы пропускания, кГц	250
Рекомендуемый входной блок .	TESLA (Братислава)
Рекомендуемый декодер стереофонического сигнала	TESLA TSD3A

55. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИЕМНИКА

Приемник частотно-модулированных сигналов (рис. 39) имеет две основные части. Это блок настройки *, включающий усилитель ВЧ, смеситель, гетеродин, и другая часть приемника, в которую входит усилитель ПЧ и детектор. Для нашей модульной системы была разработана только вторая часть, так как изготовление блока настройки требует использования специальных приборов, обычно недоступных радиолюбителям. В качестве блока настройки с успехом может быть использован блок настройки TESLA приемника Havana или Akcent, блок настройки Körting и даже ламповый блок TESLA приемника Echo.

Приемник проектировался с учетом возможности стереофонического приема. Поэтому пришлось отказаться от классической схемы и использовать принцип детектирования при помощи диодно-транзисторного интегратора с двойным преобразованием частоты.

Транзистор T_1 типа *p-n-p* работает в качестве усилителя первой промежуточной частоты 10,7 МГц. Его рабочая точка стабилизирована резистором R_2 в эмиттерной цепи. Его база связана со средней точкой емкостного делителя напряжения фильтра ПЧ блока настрой-

ки. В коллекторной цепи транзистора T_1 включен контур L_1, C_2, C_3, настроенный на частоту 10,7 МГц. Транзистор T_2 включен как преобразователь частоты. Гетеродин работает по схеме ОБ. Рабочая точка T_2 устанавливается при помощи резистора R_3, в качестве сопротивления нагрузки смесителя используется резистор R_5. Сигнал промежуточной частоты подается на базу смесителя с емкостного делителя. Его составляют конденсаторы C_2 и C_3, которые одновременно производят согласование сопротивлений транзисторов T_1 и T_2. Гетеродин работает на частоте 11 МГц. Колебательный контур составляют индуктивность L_2 и конденсаторы C_5, C_6. Конденсатором связи служит конденсатор C_4. Сигнал второй промежуточной час-

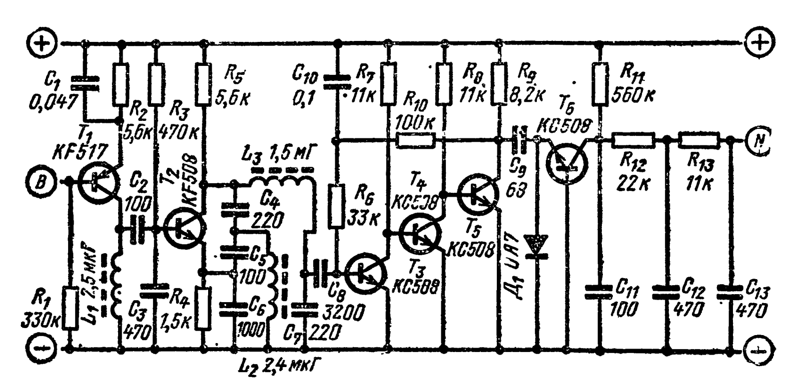


Рис. 39. ЧМ приемник — принципиальная схема.

тоты снимается с коллектора транзистора T_2 через фильтр нижних частот, который состоит из L_3, C_4, C_7. Снизу полоса пропускания ограничивается цепью C_8, R_6 и входным сопротивлением транзистора T_3.

Далее следует транзисторный усилитель с непосредственной связью на транзисторах T_3—T_5. Рабочая точка стабилизирована отрицательной обратной связью по постоянному току с коллектора транзистора T_5 на базу транзистора T_3. RC-цепь (R_{10}, C_{10}) служит фильтром переменной составляющей сигнала. Эта схема является усилителем и ограничителем напряжения второй промежуточной частоты 300 кГц. Сигнал детектируется при помощи диода $Д$ и транзистора T_6, включенных по схеме, известной в измерительной технике как диодно-транзисторный интегратор. Сигнал НЧ снимается с коллектора транзистора T_6 через фильтр нижних частот R_{12}, R_{13}, C_{12}, C_{13}. Для этого приемника был разработан разделительный усилитель и S-метр на одном транзисторе (рис. 40). Транзистор работает по схеме ОЭ с незашунтированным эмиттерным сопротивлением для достижения большого входного сопротивления. Сигнал НЧ снимается с коллектора через разделительный конденсатор. Измерительный прибор, регистрирующий интенсивность принимаемого сигнала, включен в мост, который составляют резисторы R_3, R_4, R_5 и транзистор. Чувствительность устанавливается при помощи резистора R_6. Нуль прибора — резистором R_4.

56. КОНСТРУКЦИЯ ПРИЕМНИКА

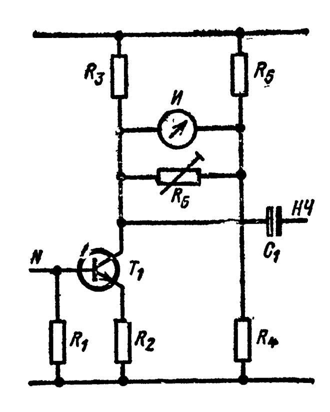


Рис. 40. ЧМ приемник — разделительный усилитель и S-метр.

Приемник собран на печатной плате (см. рис. П-10) 7,5×7,5 см (рис. 41). Катушки L_1 и L_2 заключены в экраны и подстраиваются при помощи сердечников из карбонильного железа. Катушка фильтра нижних частот выполнена в броневом сердечнике и приклеена к плате. Перед сборкой схемы проверяются все элементы, и главным образом транзисторы. Перед пайкой залуживаются выводы транзисторов и места на плате вокруг отверстий для них; так как элементы монтируются очень близко друг к другу и транзисторы при пайке нельзя охлаждать, то пайка должна производиться очень быстро. Контуры перед пайкой проверяются при помощи grid — dip-метра (гетеродинный измеритель резонанса). Это позволит избежать трудоемкого демонтирования в слу

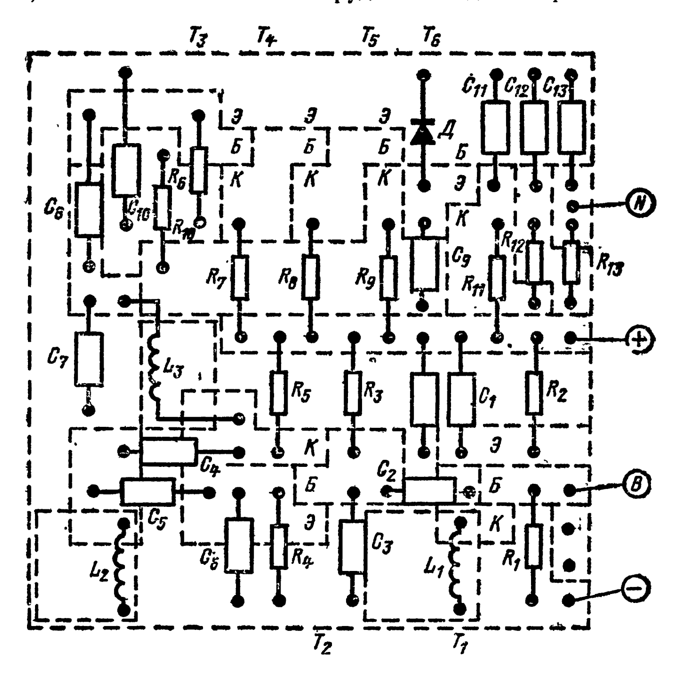


Рис. 41. ЧМ приемник — размещение элементов.

чае невозможности настройки на заданную частоту. Колебательный контур $L_2C_5C_6$ нужно выполнить особенно тщательно, чтобы не возникала паразитная частотная модуляция, вызванная вибрацией деталей.

Поэтому подводящие провода конденсаторов C_5 и C_6 должны быть как можно короче, а сердечник катушки L_2 после настройки нужно закрепить клеем.

57. НАСТРОЙКА ПРИЕМНИКА

Прежде всего необходимо настроить гетеродин на частоту 11 МГц. Лучше всего это можно произвести при помощи приемника с КВ диапазоном, проградуированным в мегагерцах. Приблизив антенну приемника к плате, по его шкале устанавливаем частоту 11 МГц и при помощи сердечника катушки L_2 пытаемся добиться приема немодулированного сигнала гетеродина. Наличие сигнала обнаруживается при помощи S-метра, оптического индикатора настройки или по исчезновению шума. Перед измерением приемник желательно откалибровать при помощи генератора стандартных сигналов или калибратора. После настройки гетеродина на базу транзистора T_1 через конденсатор с емкостью 1 нФ подается сигнал от генератора, частота которого равна 10,7 МГц, а к выходу приемника подключается электронный вольтметр. Сердечник катушки L_1 настраивается по максимальному отклонению вольтметра, при этом используется как можно меньший входной сигнал, чтобы не работал ограничитель. Если имеется генератор качающейся частоты, то можно контролировать и форму кривой пропускания. Если при настройке возникнут затруднения, то рекомендуется при помощи осциллографа проверить, не генерирует ли усилитель второй промежуточной частоты ($T_3 — T_5$). При наличии самовозбуждения нужно изменить его рабочую точку при помощи резистора R_6.

На чувствительность приемника в значительной мере влияет режим смесителя. Генерируемое напряжение, измеренное на резисторе R_4, является показателем, характеризующим режим его работы. Оптимальным можно считать переменное напряжение 100—200 мВ. Меняя значения сопротивлений резисторов R_3 и R_4, можно изменять режим смесителя, однако измерения должны производиться при слабом входном сигнале. Подводящие провода измерительных приборов необходимо экранировать, чтобы не происходил прием гармоник коротковолновых передатчиков.

58. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ БЛОКИ НАСТРОЙКИ

В ЧССР имеется в продаже блок настройки приемника TESLA431B Havana (рис. 42). Его можно рекомендовать для нашей системы. Блок включает два транзистора, вставленных в панельки. Если в наличии имеются лучшие транзисторы, чем использованы в блоке (OC170, OC171), то входной транзистор можно заменить. Подойдет тип p-n-p, например AF106, AF139 или из чехословацких GF505. Для некоторых транзисторов можно рекомендовать подгонку рабочей точки при помощи делителя 1,5—5,6 кОм в базовой цепи транзистора T_1. В этом случае блок настройки нужно снова подстроить. Блок настройки работает в диапазоне 65,5—73,5 МГц, точки сопряжения на частотах 66 и 73 МГц.

Так как блок настройки предназначен для напряжения питания 6 В, то в цепь питания должны быть включены резистор с сопротивлением 1,5 кОм и конденсатор фильтра 100 мкФ. Усилитель ПЧ под-

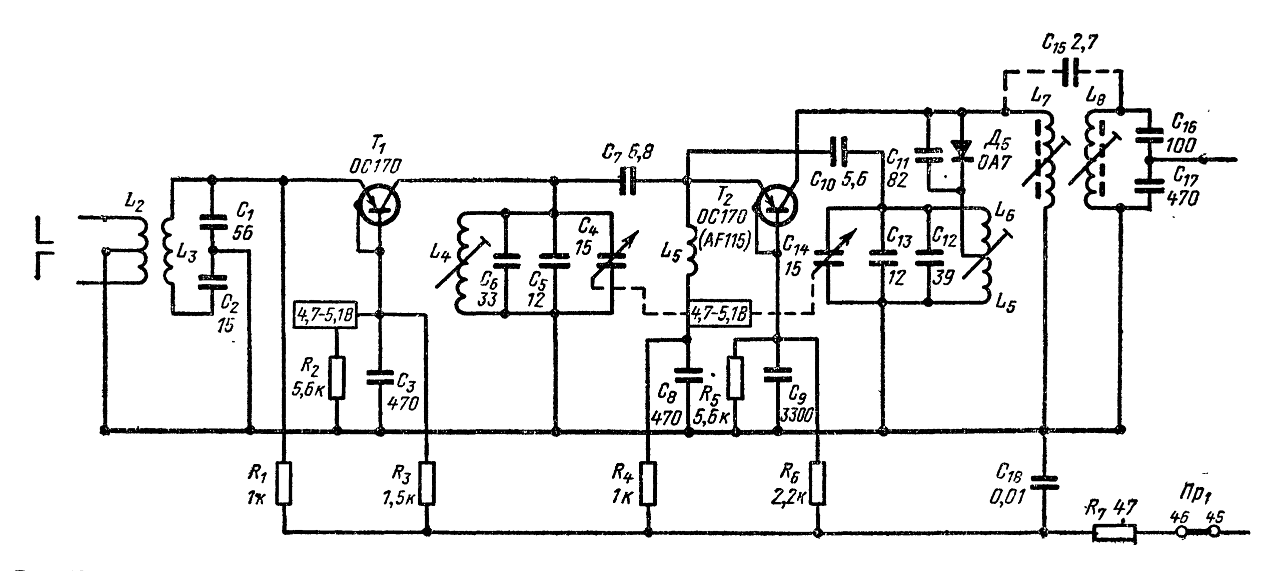


Рис. 42. Схема блока настройки Havana.

ключается тонким коаксиальным кабелем к выводу емкостного делителя так, как это сделано в приемнике Akcent. Такой же блок настройки использован и в приемнике Havana. Если имеется заграничный блок настройки, то подключение производится так же, но при этом необходимо отключить конденсатор во втором контуре фильтра и заменить его емкостным делителем напряжения с отношением 5 : 1. Если допустима смешанная схема, то можно использовать ламповый блок настройки приемника Echo; во второй контур выходного полосового фильтра включается емкостный делитель напряжения, которым контур настраивается на частоту 10,7 МГц. Такая комбинированная схема обладает значительно лучшими свойствами, чем схема приемника Echo, и ее можно использовать с декодером TESLA TSD3A для стереофонического приема.

Оба представленных блока настройки позволяют осуществить переделку схемы для приема по норме CCIR, так как контуры настройки имеют большие параллельные емкости. Для этого нужно изготовить переключатель, которым бы отключалась часть параллельных емкостей. Ни в коем случае нельзя рекомендовать конвертор CCIR — OIRT, так как качество приема ухудшается из-за взаимных помех гетеродинов. Переключение емкостей дает во всех случаях, в том числе при переделке заграничных приемников, значительно лучшие результаты, чем применение конвертора.

Если используется блок настройки для нормы CCIR, то две емкости переключаются при помощи миниатюрного переключателя, значение емкостей должны быть подобраны, увеличение емкости в диапазоне CCIR компенсируется подстроечными конденсаторами, а в диапазоне OIRT осуществляется одноточечное сопряжение в середине диапазона. Такой блок в диапазоне CCIR имеет прежнюю чувствительность, а в диапазоне OIRT уменьшение чувствительности не является серьезным недостатком, так как сигналы местных передатчиков достаточно сильны.

Кроме того, могут быть использованы некоторые блоки настройки транзисторных приемников Grundig, у которых всегда есть хотя бы один контур промежуточной частоты, являющийся частью блока настройки, который можно использовать без изменений.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

УПРАВЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО АВТОМАТИКИ

59. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение питания, В	24 или 12
Габариты, см	7,5×7,5×4
Чувствительность при включении, мВ	700 синусоидального сигнала
Потребляемый ток, мА	Зависит от использованного реле: до 50 при напряжении 24 В, до 100 при 12 В
Входное сопротивление, кОм . . .	10
Прерывание постоянным током (максимальным), мкА	100
Прерываемый ток (минимальный), мА	500

60. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Управляющее устройство (рис. 43) предназначено для преобразования переменного синусоидального сигнала в импульсы постоянного тока при помощи реле.

Между транзисторами T_1 и T_2 имеется непосредственная связь. Транзистор T_1 включен по схеме с ОК. Сопротивлением нагрузки является резистор R_5, с которого снимается напряжение, подаваемое на T_2, включенный по схеме с ОЭ.

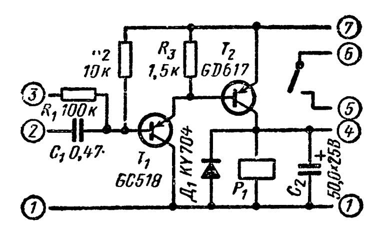


Рис. 43. Управляющее устройство автоматики — принципиальная схема.

В коллекторной цепи транзистора T_2 включено реле P_1, параллельно ему подключен диод $Д$, предохраняющий транзистор от пробоя, из-за возможного выброса напряжения на обмотке реле в момент ее отключения.

Транзистор T_1 при отсутствии сигнала не имеет смещения на базе, поэтому он закрыт; транзистор T_2 тоже закрыт и по обмотке реле ток не течет. Если на базу транзистора T_1 подается достаточно большое напряжение, то он откроется, а с ним и транзистор T_2, реле сработает. Переменный сигнал вызывает такую же реакцию с той лишь разницей, что транзистор открывает только отрицательная полуволна. Поэтому в коллекторной цепи транзистора T_2 включен конденсатор C_2, который удержит якорь реле в замкнутом состоянии в течение положительной полуволны.

61. КОНСТРУКЦИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Управляющее устройство собрано на печатной плате 7,5×7,5 см (рис. 44). Можно использовать как разъем, так и припаянные выводы. Использованное реле позволяет переключать ток до 500 мА, что достаточно для всех слаботочных устройств. Если необходимо многократное переключение, то можно использовать реле TESLA HC50123 с обмоткой 1500/5 300/0,1 CuS, которое подключается при помощи выводов *1* и *4*. На плате реле отсутствует, но предохранительный диод есть Внешнее реле может быть любого типа, которое сработает при токе меньшем 50 мА (питание 24 В) или 100 мА при питании 12 В (см. приложение 11).

У транзисторов должно быть усиление по току $h_{21э}$ больше 50, а максимальное допустимое напряжение на коллекторе более 24 В ($U_{к\,э\,макс}$). Диод $Д$ должен выдерживать 100 В обратного напряжения.

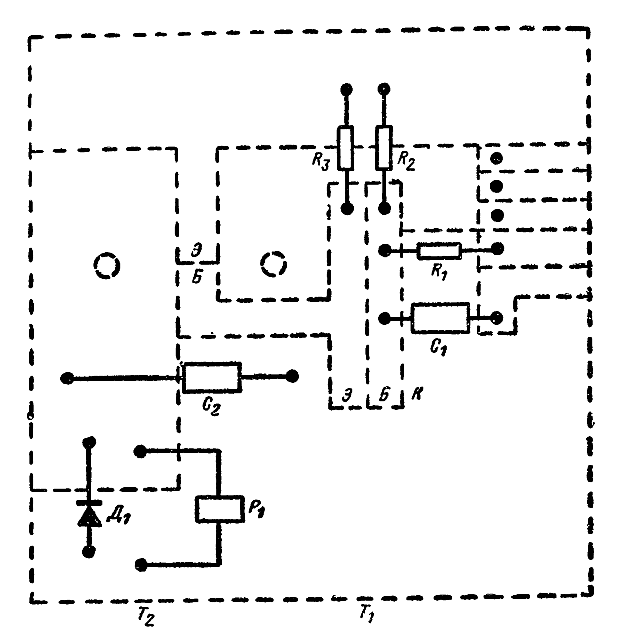


Рис. 44. Управляющее устройство автоматики — размещение элементов.

62. НАЛАЖИВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Устройство подключается к напряжению, при котором оно будет работать, и измеряется ток, протекающий через T_2. Без сигнала этот ток не должен превышать 5 мА. Далее проверяется переключение по постоянному току. При соединении выводов *3* и *1* должно сработать реле P_1. То же самое должно быть, когда на вход *2* подается переменный сигнал, частота которого равна 1 кГц, а напряжение 300—700 мВ.

63. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Это устройство вместе с магнитофоном может быть использовано для автоматического управления диапроектором при помощи сигналов, записанных на ленте, или для синхронизации магнитофона с кинопроектором. Кроме того, оно найдет применение в качестве индикатора переменного или постоянного сигнала. Для этой цели можно реле заменить лампой на соответствующее напряжение, но не более чем одноваттной, и конечно исключить диод *Д* и конденсатор C_2. Такой индикатор был использован в качестве индикатора стереофонических сигналов вместе с декодером TESLA.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ

СЕТЕВОЕ ПИТАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

64. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Напряжение, сети, В	120 или 220
Напряжение питания, В	24
Максимальный потребляемый ток, А .	1
Возможность регулировки напряжения, %	±20
Защита	Плавкий предохранитель 1 А, электронный предохранитель 50 мА — 1 А

65. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Сетевое питающее устройство разделено на две части (рис. 45). Первую составляет трансформатор, выпрямительные диоды и фильтрующий конденсатор; эти элементы не расположены на плате и здесь не представляется их размещение. Вторую часть составляет стабилизатор напряжения, собранный на печатной плате (см. рис. П-12).

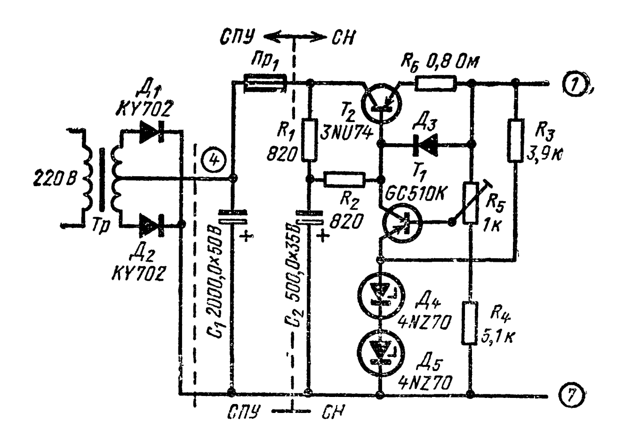


Рис. 45. Сетевое питающее устройство — принципиальная схема.

У сетевого трансформатора имеется отвод от первичной обмотки, позволяющий подключать его к сети с напряжением 120 и 220 В. Вторичная обмотка рассчитана на напряжение 2×28 В. Двухполупериодный выпрямитель выполнен на диодах $Д_1$ и $Д_2$, это кремниевые выпрямители серии KY, их тип выбирается в зависимости от требуемого тока. В данной системе может быть использован тип KY702 или еще лучше KY722; C_1 — фильтрующий конденсатор.

Стабилизатор напряжения подключен к источнику через плавкий предохранитель. Стабилизатор состоит из двух транзисторов*. Транзистор T_1 включен как сравнивающий, на его базу подается часть выходного напряжения, а на эмиттере имеется опорное напряжение со стабилитрона. Разностное напряжение управляет транзистором T_1 и регулирует его коллекторный ток. Коллекторный ток транзистора T_1 управляет транзистором T_2. Часть этого тока проходит через резисторы R_1 и R_2. Конденсатор C_2 служит для фильтрации переменного тока и демпфирует собственные колебания стабилизатора. Для защиты от перегрузок имеются резистор R_6 и диод $Д_3$. Сопротивление резистора R_6 должно быть выбрано так, чтобы падение напряжения на нем и напряжение $U_{б.э}$ транзистора T_2 в сумме не превышали напряжения, необходимого для того, чтобы открыть диод $Д_3$. Если ток превысит заданное значение, то падение напряжения на R_6 увеличится и диод $Д_3$ откроется, что вызовет запирание транзистора T_2. Этот процесс продолжается до тех пор, пока из-за короткого замыкания на выходе на транзисторе T_2 будет полное напряжение выпрямителя. Поэтому транзистор T_2 должен быть рассчитан на это состояние, т. е. на напряжение $U_{к.э.макс}=40$ В и мощность $P_к=50$ Вт. Здесь лучше всего подойдет транзистор 3NU74 производства TESLA или болгарский транзистор SFT214. Если не требуется такой большой ток или устройство должно обеспечить 12 В, то в качестве T_2 может быть выбран транзистор с меньшей мощностью рассеяния и, кроме того, можно уменьшить мощность силового трансформатора. Переменное напряжение на вторичной обмотке трансформатора должно быть примерно на 4 В больше, чем заданное максимальное стабилизированное напряжение. Кроме того, опорное напряжение стабилитрона между эмиттером и положительным полюсом источника должно быть примерно на 10% меньше, чем минимальное выходное напряжение стабилизатора. Исходя из этих соображений, выбирают один или два последовательно соединенных опорных диода.

Сопротивление резистора R_3 должно быть выбрано так, чтобы протекающий по нему ток был больше, чем ток транзистора T_1.

66. КОНСТРУКЦИЯ ПИТАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Трансформатор $Тр$ вместе с диодами $Д_1$ и $Д_2$ и конденсатором C_1 монтируется на металлической или изоляционной плате. Их размещение зависит от назначения питающего устройства. Сам стабилизатор собран на печатной плате и имеет разъем или припаянные выводы. Управляющий транзистор вместе с радиатором служит (алюминиевый лист толщиной 3 мм) составной частью стабилизатора. Такая поверхность достаточна для случая непродолжительного короткого замыкания (рис. 46).

У транзистора T_2 усиление по току должно быть более 50. То же самое можно сказать о транзисторе T_1. Чем больше усиление по току, тем больше коэффициент стабилизации. Рекомендуется предварительно измерить параметры транзисторов T_1 и T_2 и обоих опорных диодов, так как повреждение транзистора T_2 при случайном выходе из строя какой-либо детали обходится довольно дорого. Нужно учесть, что выпрямитель питающего устройства при коротком замыкании дает ток до 10 А. Если желательно иметь индикацию состояния плавкого предохранителя $Пр_1$, то параллельно ему нужно

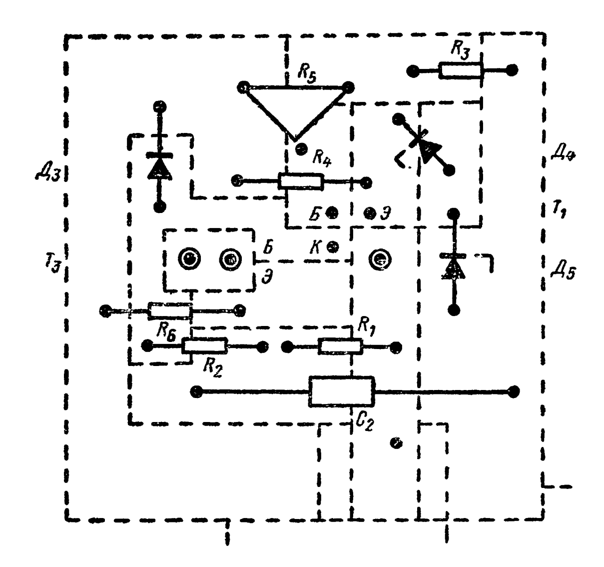


Рис. 46. Сетевое питающее устройство — размещение элементов.

включить коммутаторную лампочку 25 В/50 мА, которая загорится, как только перегорит предохранитель; ток, протекающий через лампу, не может повредить стабилизатору.

67. НАЛАЖИВАНИЕ ПИТАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Вынув предохранитель $Пр_1$, подключим устройство к сети и измерим напряжение на конденсаторе C_1. Оно должно быть в 1,4 раза больше, чем переменное напряжение на одной половине вторичной обмотки сетевого трансформатора. Если все в порядке, ставим предохранитель $Пр_1$ и измеряем напряжение холостого хода на выходе стабилизатора. Изменение сопротивления резистора R_5 должно вызывать изменение выходного напряжения стабилизатора в пределах 20%. Возможны неисправности: например, маленький ток, протекающий через опорные диоды, или разброс параметров диодов. В этом случае нужно вольтметром измерить напряжение на них. Если все в порядке, то налаживается электронный предохранитель и проверяется его работа.

Резистор R_6 заменяется резистором с переменным сопротивлением 4,7 Ом, к выходу стабилизатора подключается сопротивление, соответствующее максимальной нагрузке, и измеряется напряжение на нем. Определив уменьшение напряжения по сравнению с установленным ранее без нагрузки, медленно уменьшаем сопротивление, пока напряжение не достигнет первоначального значения. Измерив значение переменного сопротивления, заменяем его постоянным, которое можно сделать из сопротивления 4,7 Ом, если часть провода, которая была использована при наладке, намотать на любой рези-

стор 1—2 Вт. Затем проверяем питающее устройство в режиме короткого замыкания. Через амперметр на 10 А закорачиваем выходные клеммы устройства, определяем ток, протекающий через измерительный прибор, и по нему рассчитываем мощность рассеяния на транзисторе T_2. Во время этого измерения обычно сгорает плавкий предохранитель.

68. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВОГО ПИТАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Это устройство достаточно для питания усилителя 2×10 Вт с предварительными усилителями и всех других систем, кроме усилителя 25 Вт, для которого необходимо напряжение 40 В. Источник такого напряжения можно сделать по тому же принципу, но с другим силовым трансформатором и двумя последовательно соединенными стабилизаторами на 20 В каждый.

69. РАСЧЕТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Первичное напряжение, В	120, 220
Вторичное напряжение, В	2×28
Ток первичной обмотки при напряжении, А:	
120 В	0,25
220 В	0,14
Ток вторичной обмотки, А	1
Мощность первичной обмотки, Вт	30

Площадь сечения сердечника Q определяется по мощности первичной обмотки $P_п$:

$$Q = \sqrt{P_п},$$

где Q в см²; P в Вт.

Число витков w_1 на 1 В получим из эмпирической формулы

$$w_1 = \frac{45}{Q}.$$

Подставив значения, получим: площадь сечения сердечника 5,5 см²; число витков на 1 В 8,2; число витков отдельных обмоток найдем умножением напряжения обмотки на число витков на 1 В, нагрузку по току выбираем равной 2,5 А/мм².

Получим:

w_{120}=984 витка провода диаметром 0,4 мм;

w_{100}=820 витков провода диаметром 0,3 мм;

w_{28}=230 витков провода диаметром 0,7 мм.

Подходящий сердечник выбирается по каталогу. Эмпирические формулы и постоянные, связанные с материалом сердечника, приведены во многих публикациях.

Если требуется мощность, отличная от 30 Вт, то, воспользовавшись приведенными формулами, можно рассчитать новый трансформатор. Однако трансформатор на 30 Вт является оптимальным для большинства схем. Для системы, питаемой напряжением 12 В, вто-

ричная обмотка трансформатора наматывается 2×15 В, т. е. 2×123 витка проводом диаметром 0,7 мм.

Конструкция трансформатора. Между слоями обмотки прокладывается бумага, первичная и вторичная обмотки изолируются более плотной бумагой или тонким картоном. Пластины трансформатора собираются без зазоров, намотка должна быть проведена плотно. Сердечник стягивается винтами, и если есть возможность, то можно проварить весь трансформатор в изоляционной массе. Готовый трансформатор при подключении к сети в режиме холостого хода не должен ни гудеть, ни нагреваться. Измеряется напряжение на вторичной обмотке, и если оно не отличается более чем на 5% от заданного, то можно считать трансформатор хорошим и подключить его к выпрямителю.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

ПРИМЕРЫ СИСТЕМ

Перечень модулей и их обозначение в тексте и на рисунках

Усилители напряжения:	
универсальный усилитель I	УУI
универсальный усилитель II	УУII
корректирующий усилитель для проигрывателя . . .	КУП
усилитель воспроизведения для магнитофона	УВМ
усилитель, работающий на линию	ЛУ
Усилители мощности:	
с выходной мощностью 3 Вт	W3
с выходной мощностью 10 Вт	W10
с выходной мощностью 25 Вт	W25
Приемники:	
приемник амплитудно-модулированных сигналов . .	АМП
приемник частотно-модулированных сигналов	ЧМП
Вспомогательные модули:	
управляющее устройство автоматики	УА
сетевое питающее устройство	СПУ
стабилизатор напряжения	СН
декодер стереофонического сигнала	ДСС

Примечание: Все модули были описаны выше, исключение составляет декодер TSD 3-A стереофонического сигнала, который выпускает TESLA.

70. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОМБИНИРОВАНИЯ МОДУЛЕЙ

При составлении модульных систем нужно выполнять следующие три пункта: 1) правильно выбрать напряжение питания 12, 24 или 40 В; 2) производить согласование сопротивлений модулей; 3) правильно разместить регулятор усиления, чтобы в каком-либо модуле системы не произошло искажение сигнала из-за его ограничения.

71. ВЫБОР НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ

Для переносных устройств используется напряжение 12 В, из чего вытекает ограничение выходной мощности до 3 Вт. Такое же напряжение используется и для устройств, питаемых от аккумуляторов легковых автомашин. Для большинства устройств, питаемых от сети, подойдет напряжение 24 В. Только для устройств, где требуется мощность 25 Вт, для питания оконечных каскадов нужно иметь напряжение 40—48 В. В качестве источника напряжения для переносных устройств целесообразно применить три последовательно соединенные батареи типа 3336, которые дают среднее напряжение 12 В, максимальное напряжение 13,5 В. При токе 150 мА они имеют емкость 0,9 А·ч. Так как производится усиление речевого или музыкального сигнала, энергетический спектр которого нерегулярен, с редкими максимумами, то этот источник можно считать достаточным для усилителя 3 Вт и других маломощных модулей. Для переносных устройств выходная мощность 3 Вт даже больше, чем требуется. Для питания автомобильных приемников в большинстве случаев применяется аккумулятор с напряжением 12 В. При таком напряжении ни один усилитель данной модульной системы не будет иметь выходную мощность более 3 Вт, но если нужно использовать несколько громкоговорителей, то можно подключить несколько оконечных усилителей параллельно и питать их от усилителя, работающего на линию. Выходы усилителей подключаются отдельно к каждому громкоговорителю.

72. СОГЛАСОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ МОДУЛЕЙ

Для правильной работы модулей, получения максимального усиления мощности, максимального запаса по линейности и минимальных искажений необходимо произвести согласование их сопротивлений. Поэтому для каждого модуля указано минимальное сопротивление нагрузки, которого нужно придерживаться. Это, конечно, не исключает возможности использовать модули с меньшими, чем указано, сопротивлениями нагрузки, но в этом случае не будут достигнуты заданные параметры, главным образом это касается максимального выходного напряжения и искажений.

Оптимальное значение сопротивления источника сигнала (звукоснимателя проигрывателя, магнитофонной головки или микрофона) около 1 кОм. Оно получено с учетом требования минимального уровня шумов. Поэтому электроакустические преобразователи, предназначенные для транзисторных устройств, конструируются так, чтобы их внутреннее сопротивление в акустическом диапазоне не превышало 20 кОм. Так как эти преобразователи в принципе представляют собой источники напряжения, т. е. могут иметь и режим холостого хода, то входное сопротивление усилителя должно быть в несколько раз больше, чем наибольшее сопротивление источника. До-

статочно, если оно будет более 50 кОм. Для микрофонного усилителя к динамическому микрофону, сопротивление которого составляет 200—600 Ом (такое сопротивление имеет большинство качественных бытовых и студийных микрофонов), достаточным будет входное сопротивление 5 кОм. Если модули подключаются друг к другу, то рекомендуется, чтобы входное сопротивление последующего усилителя было в десять раз больше, чем выходное сопротивление предыдущего. Исходя из этих соображений, были получены значения минимальных сопротивлений нагрузки.

То же самое справедливо и для выбора пассивных регуляторов усиления. Полное сопротивление потенциометра регулятора усиления должно быть в десять раз больше, чем внутреннее сопротивление предыдущего модуля.

Выходное сопротивление модулей не было представлено в технических данных по той причине, что оно зависит от цепей отрицательной обратной связи.

У усилителей мощности нужно обратить внимание на то, чтобы они не перегружались при использовании нагрузки с меньшим сопротивлением, чем указано в технических данных. Если же сопротивление нагрузки больше оптимальной, то с усилителем ничего случиться не может; все усилители мощности могут работать в режиме холостого хода, однако максимально возможная выходная мощность при этом уменьшается, ее величину можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{макс}} = \frac{U^2_{\text{макс}}}{R_{\text{н}}},$$

где $P_{\text{макс}}$ — максимально возможная мощность, Вт; $U_{\text{макс}}$ — максимальное выходное напряжение усилителя, В; $R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки, Ом (сопротивление системы громкоговорителей, размещенных в акустических агрегатах).

При этом расчете надо учитывать характерные особенности развязывающих фильтров комбинаций громкоговорителей в акустических агрегатах. Они рассчитаны на несколько раздельных полос частот, у которых иногда бывает значительный разброс параметров, что может привести к повреждению усилителя.

С точки зрения оптимального согласования по мощности можно рекомендовать следующие комбинации низкочастотных модулей: УУI или УУII или УВМ вместе с W10; КУП вместе с W3 или W10.

Если нужна мощность, превышающая 10 Вт, то используется усилитель мощности 25 Вт, который должен быть подключен к усилителю, работающему на линию ЛУ; к нему, как к распределителю, может быть подсоединено до шести усилителей с выходной мощностью 25 Вт. Это выгодно и с точки зрения надежности работы, потому что усилители мощности могут быть составной частью акустических агрегатов; распределители с малым сопротивлением устойчивы к наводкам, а при коротких замыканиях линии выходные транзисторы усилителя мощности, размещенные в агрегатах, в этом случае не подвергаются перегрузкам.

Особенно осторожно нужно использовать выводы для второго громкоговорителя, который имеется в тех приемниках и приборах, где собственный громкоговоритель мал. В этом случае общее сопротивление обоих громкоговорителей не должно быть менее рекомендуемого значения сопротивления нагрузки.

73. МЕСТО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА УСИЛЕНИЯ ИЛИ ГРОМКОСТИ

Правильное размещение регуляторов в схеме усилителя имеет большое значение для получения оптимальных свойств модульной системы.

Регулятор усиления — это устройство, при помощи которого устанавливается необходимое усиление усилителя или его отдельных каскадов так, чтобы сигнал во входном модуле усиливался без искажений. Чаще всего это омический делитель напряжения, помещаемый в цепи обратной связи или на входе при наличии сильного входного сигнала.

Регулятор громкости — это устройство, которое используется для сопряжения динамических диапазонов сигнала и усилителя или для установки необходимого уровня прослушивания. Это переменный делитель напряжения, который всегда пассивен. В некоторых устройствах он дополняется частотной коррекцией, зависящей от устанавливаемого уровня громкости. В этом случае его называют физиологическим регулятором громкости, он служит для согласования зависимости чувствительности уха челобека от частоты и силы звука с соответствующими характеристиками сигнала.

Для получения оптимальных свойств электроакустической цепи регулятор усиления чаще всего находится в цепи ОС и является частью входного усилителя. Этим регулятором усиление устанавливается так, чтобы не ограничивались пики сигнала. Громкость же регулируется уже за входным усилителем при помощи пассивного регулятора, обычно потенциометра. Помещать регулятор громкости на входе электроакустической системы не рекомендуется, потому что в этом случае шумы входного усилителя постоянны и не зависят от входного сигнала, при этом с уменьшением громкости ухудшается отношение сигнал/шум. Если входной усилитель не в состоянии усиливать входной сигнал без искажений, то при помощи цепи обратной связи надо уменьшить чувствительность этого усилителя; если такая мера не поможет, то ко входу подключают делитель напряжения. В крайнем случае входной сигнал можно подавать прямо на регулятор громкости, находящийся за входным усилителем. В таком режиме обычно работают так называемые линейные входы профессиональных устройств. Регуляторами усиления чаще всего бывают потенциометры с показательной зависимостью сопротивлений от угла поворота или делители, набранные из резисторов с такой же характеристикой.

Перед монтажом любой системы должна быть произведена проверка работы устройства как единого целого. Для этой цели лучше всего подойдет испытательная панель, где производятся все измерения.

74. ВЫБОР ВХОДНОГО УСИЛИТЕЛЯ

В качестве входного усилителя может служить один из следующих типов: УУI, УУII и КУП или УВМ, в том случае, если нужно обеспечить другую, отличающуюся от основной частотную характеристику. Эти усилители отличаются друг от друга только максимальным

усилением, кроме того, у УУП имеется возможность использования корректирующей цепи для плавной регулировки тембра на нижних и верхних частотах, а КУП отличается небольшим выходным сопротивлением. Подходящий тип подбирается с учетом свойств электроакустических преобразователей и их выходных напряжений. Качественные электродинамические звукосниматели дают напряжение порядка милливольт, поэтому для них необходимо использование КУП; то же самое можно сказать в случае использования профессиональных магнитофонных головок воспроизведения, у которых индуктивность бывает около 75 мГ. Головки бытовых магнитофонов или звукоснимателя с большим сопротивлением и большим выходным напряжением позволяют применять усилители УУI или УУII с соответствующей частотно-зависимой обратной связью. В магнитофоне, у которого должны быть обеспечены параметры профессиональных устройств, нужно использовать УВМ, у которого есть достаточный запас для введения отрицательной обратной связи, осуществляющей коррекцию сигнала до 30 Гц.

Если один входной усилитель используется для нескольких источников сигналов, то кроме частотной характеристики нужно скорректировать и усиление предварительного усилителя для каждого источника отдельно. Лучше всего это можно сделать в цепи обратной связи для получения отношения сигнал/шум лучшего, чем при пассивных делителях напряжения, хотя в этом случае придется применить более сложный переключатель.

75. ВЫБОР УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

В переносных и автомобильных радиоприемниках используется усилитель W3. То же самое можно сказать о других переносных устройствах. Для условий квартиры достаточна мощность 10 Вт, для стереофонического приема 2×10 Вт. Интересно сравнить с этой рекомендацией промышленные устройства. По данным 1969 и 1970 гг. в ЧССР ни у одного приемника мощность не превышала 10 Вт на канал, сюда входят и импортные приемники. Ни чехословацкие, ни заграничные переносные автомобильные приемники, кроме японских National, не имели выходную мощность больше 3 Вт. Только у Hi-Fi стереофонической системы (TESLA, изготовляемая на заказ) была мощность 10 Вт на канал.

Усилитель W25 найдет применение только при радиофикации больших пространств или для электромузыкальных инструментов, где необходим запас мощности для передачи пиков сигнала. Если нужно добиться значительной акустической мощности, то для получения равномерного поля хорошо использовать несколько комбинаций громкоговорителей, у каждой из которых будет свой усилитель мощности. Входы в этом случае подключены параллельно к выходу линейного усилителя, которым должна заканчиваться любая система, где громкоговорители и усилители мощности удалены друг от друга на несколько метров. Это требование оправдано тем, что если используется усилитель W25 и громкоговорители удалены от него на 100 м, то при наличии медных проводов диаметром 1 мм половина мощности теряется из-за сопротивления проводов.

76. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ПРОИГРЫВАТЕЛЯ

Технические данные

Напряжение питания	120/220 В сети или 24 В от аккумулятора
Входная чувствительность, мВ . . .	2
Минимальное входное сопротивление, кОм	50
Выходная мощность, Вт	2×10
Сопротивление нагрузки, Ом	4
Нелинейные искажения, %	Меньше 1
Коррекция согласно норме	RIAA
Тип звукоснимателя	Скоростной

Усилитель предназначен для воспроизведения стереофонических пластинок в домашних условиях. Он может питаться от сети или в случае необходимости от аккумуляторов. Сухие батареи здесь непригодны, так как максимальный потребляемый ток достигает 2 А.

Усилитель можно рекомендовать для использования в проигрывателе со звукоснимателем, работающем на электродинамическом принципе, например SHURE V-15 или Supraphon VM2101.

Пьезоэлектрический звукосниматель нужно нагрузить на сопротивление 4,7 кОм для выравнивания частотной характеристики.

У усилителя для каждого канала есть свой регулятор громкости (рис. 47).

Используемые модули: КУП — 2 шт., W10 — 2 шт., СН — 2 шт., СПУ — 1 шт.

77. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ

Технические данные

Напряжение питания	120/220 В от сети или 24 В от аккумуляторов
Максимальная входная чувствительность, мВ	2
Минимальное входное сопротивление, кОм	50
Выходная мощность, Вт	2×10
Сопротивление нагрузки, Ом . . .	4
Нелинейные искажения, %	Меньше 1
Число входов	3 главных, 1 вспомогательный (с линии)
Коррекция	Проигрыватель: RIAA Магнитофон: ЧГН коммерческая (70 мкс, 1590 мкс)

Усилитель предназначен для воспроизведения записи на стереофонических пластинках, для усиления сигнала от магнитофона со скоростью 19 см/с с входом для стереофонического приемника («тюнер») и с одним универсальным линейным входом. Питание от сети или аккумулятора. Пиковый потребляемый ток достигает 2 А. При-

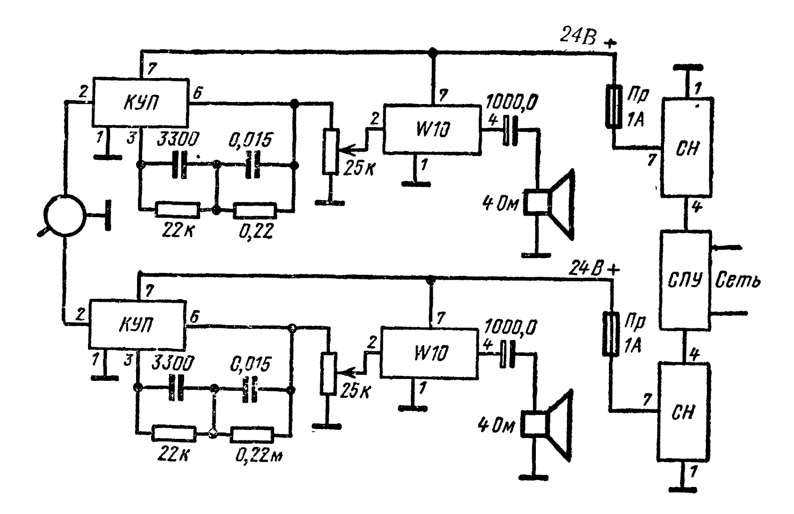


Рис 47. Стереофонический усилитель для проигрывателя — схема соединения модулей.

годен для проигрывателя с электродинамическим или пьезоэлектрическим звукоснимателем, для магнитофонов, индуктивность головок которых равна 75—200 мГ, и для любого тьюнера. У него имеется независимая коррекция тембра на верхних и нижних частотах, самостоятельный регулятор балансировки (рис. 48).

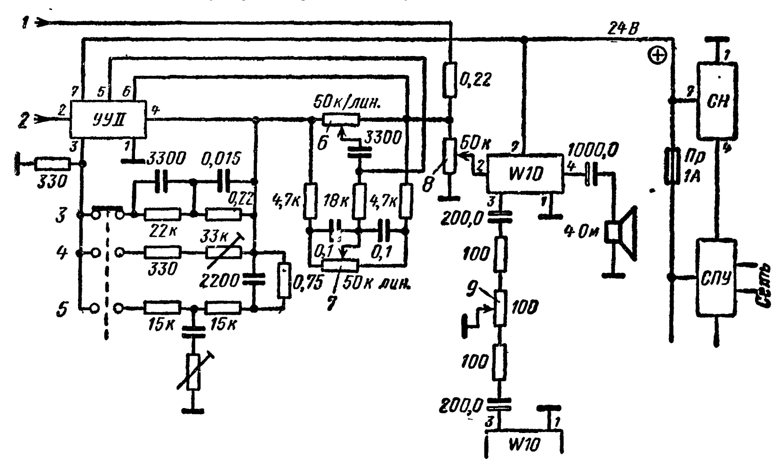


Рис. 48. Стереофонический усилитель с универсальным входом — схема соединения модулей.

1 — линия; *2* — универсальный вход; *3* — электромагнитный звукосниматель; *4* — тьюнер; *5* — магнитофонная головка; *6* — тембр верхних частот; *7* — тембр нижних частот; *8* — громкость; *9* — симметрия.

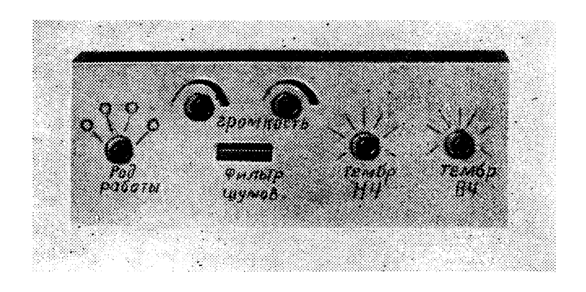


Рис. 49. Стереофонический усилитель с универсальным входом — общий вид панели.

Используемые модули: УУП — 2 шт., W10 — 2 шт., СН — 2 шт., СПУ — 1 шт.

На рис. 49 приведен пример конструктивного решения такого усилителя с универсальным входом, дополненного фильтром шума.

78. ПРИСТАВКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКЦИОННЫМ АППАРАТОМ ИЛИ ДИАСКОПОМ ПРИ ПОМОЩИ МАГНИТОФОНА

Технические данные

Напряжение питания	120/220 В от сети
Входная чувствительность, мВ . . .	1
Переключаемая мощность	24 В/0,1 А
Генератор сигналов, Гц	800
Выходная мощность прослушивания, Вт	3

Приставка предназначена для записи и воспроизведения синхронизирующих сигналов на магнитофонной ленте, при помощи которых производится запуск проекционного аппарата. Пригодна для использования с магнитофоном, имеющим четыре дорожки. Если магнитофон предназначен для монофонического режима, то будут использованы все модули приставки. При наличии стереофонического магнитофона можно обойтись без модуля КУП и W3. У приставки есть свой генератор сигналов-меток с частотой 800 Гц, записываемых на одну дорожку ленты. При записи меток модуль воспроизведения приставки служит для контроля звуковой дорожки (комментария). При воспроизведении с магнитофона приставка подключается к свободной головке, которая снимает сигнал со вспомогательной дорожки. Она позволяет производить акустический контроль меток и включает вспомогательные реле, управляющие работой проекционного аппарата (рис. 50).

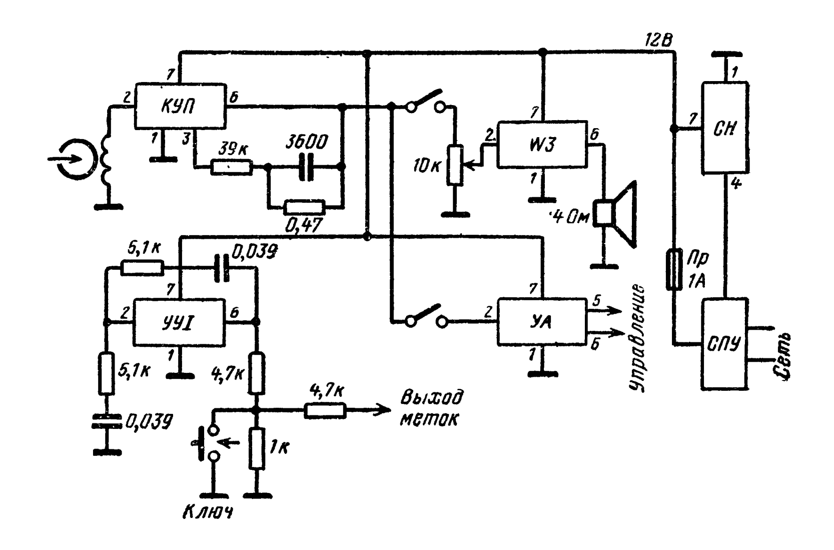


Рис. 50. Приставка для управления проекционным аппаратом или диаскопом при помощи магнитофона — схема соединения модулей.

Используемые модули: УУI — 1 шт., КУП — 1 шт., W3 — 1 шт., УА — 1 шт., СН — 1 шт., СПУ — 1 шт.

79. ПЕРЕНОСНЫЙ РАДИОПРИЕМНИК

Технические данные

Напряжение питания, В	12
Диапазоны	ДВ, СВ, КВ (6—16 МГц)
Промежуточная частота, кГц	468
Выходная мощность, Вт	3
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	4
НЧ вход	1—10 мВ, 50 кОм
Антенна	Встроенная ферритовая или гнездо для внешней
Чувствительность	Лучше 500 мкВ/м для выходной мощности 50 мВт

Переносный приемник предназначен для приема радиовещания на длинных, средних и коротких волнах. В нем используется блок настройки от радиоприемников TESLA T61—T63. Для приема средних и длинных волн блок настройки снабжен ферритовой антенной, у блоков настройки некоторых приемников и коротковолновая входная катушка размещена на ферритовом стержне (T63). У приемни-

ка есть гнездо для ввода низкочастотного сигнала с чувствительностью 10 мВ и входным сопротивлением более 50 кОм, куда можно подсоединить любой проигрыватель на батареях или магнитофон. Предполагается, конечно, что сигнал скорректирован в соответствии с нормой (рис. 51).

Используемые модули: АМП — 1 шт., УУI — 1 шт., W3 — 1 шт.

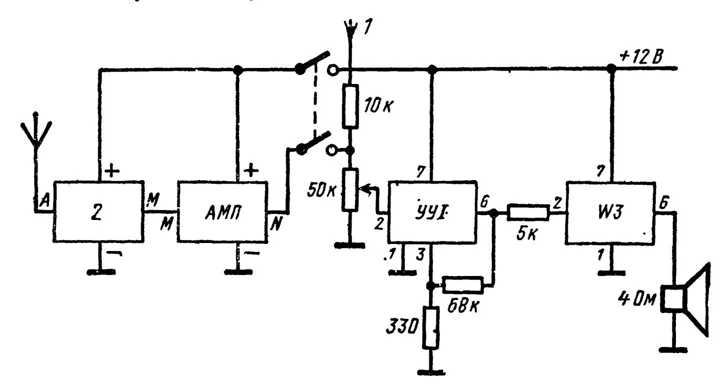


Рис. 51. Переносный радиоприемник — схема соединения модулей.

1 — НЧ сигнал; *2* — блок настройки TESLA T61-3.

80. НАСТОЛЬНЫЙ РАДИОПРИЕМНИК

Технические данные

Напряжение питания, В	120/220 В от сети
Диапазоны	АМ: ДВ, СВ, КВ ЧМ: OIRT
Промежуточная частота	ЧМ: 10,7 МГц, 300 кГц АМ: 468 кГц
Выходная мощность, Вт	10
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	4
НЧ вход	100 мВ/500 кОм
НЧ выход	5 мВ/5 кОм
Антенна	Встроенная ферритовая или внешняя
Чувствительность	АМ лучше 500 мкВ/м; ЧМ лучше 10 мкВ при 50 мВт выходной мощности

Настольный приемник предназначен для приема радиовещания на длинных, средних, коротких и ультракоротких волнах. В нем используется блок настройки от приемников TESLA T61—T63 для приема АМ. В качестве блока настройки УКВ служит входной блок приемника Havana. Имеется самостоятельный усилитель промежуточ-

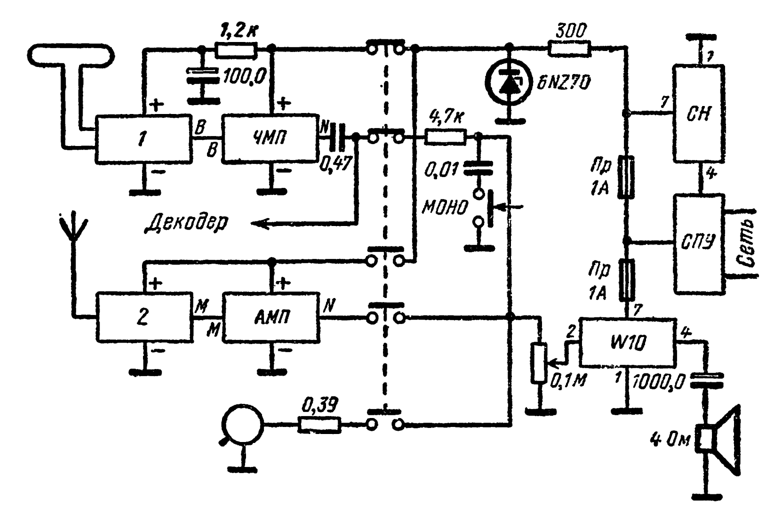


Рис 52. Настольный приемник — схема соединения модулей.
1 — блок настройки УКВ; *2* — блок настройки TESLA T61-3.

ной частоты для АМ и ЧМ. У приемника есть гнездо для подключения проигрывателя с пьезоэлектрическим звукоснимателем. С выхода детектора ЧМ сделан специальный вывод для подключения декодера стереофонического сигнала (рис. 52).

Используемые модули: АМП — 1 шт., ЧМП — 1 шт., W10 — 1 шт., СН — 1 шт., СПУ — 1 шт.

81. АВТОМОБИЛЬНЫЙ РАДИОПРИЕМНИК

Технические данные

Напряжение питания, В	12
Диапазоны	СВ, КВ1, КВ2
Промежуточная частота, кГц	468
Выходная мощность, Вт	3
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	4
НЧ вход	100 мВ для магнитофона TESLA A3 прямо на W10
Антенна	Автомобильная штыревая
Чувствительность	Лучше 100 мкВ при 50 мВт выходной мощности

Автомобильный приемник предназначен для приема передач на средних и коротких волнах. В нем используется блок настройки приемника T61-2806B, из которого была исключена ферритовая антенна и вместо нее поставлена катушка, намотанная в броневом

ферритовом сердечнике. Связь с антенной СВ индуктивная, для КВ емкостная. У приемника есть вход для подключения кассетного магнитофона TESLA A3; так как регулятор громкости регулирует одновременно и выходное напряжение магнитофона, то он подключен

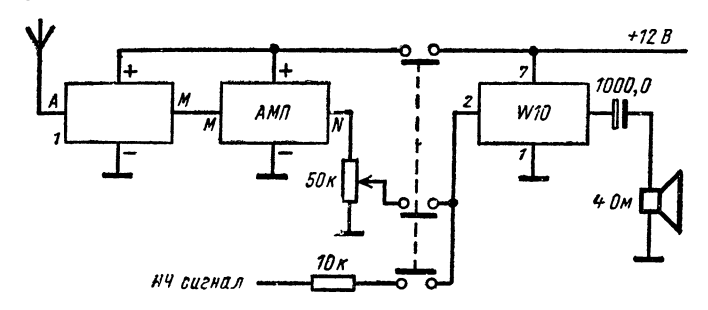


Рис. 53. Автомобильный приемник — схема соединений модулей

1 — блок настройки TESLA T61.

прямо к усилителю мощности. Так как предполагается, что приемник будет работать при температуре, достигающей 40° С, то использован усилитель мощности W10, чтобы тепловая нагрузка оконечных транзисторов была как можно меньше (рис. 53).

Используемые модули: АМП — 1 шт., W10 — 1 шт

82. МИКШЕРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Технические данные

Напряжение питания, В	24 от батарей или 120/220 от сети
Число входов	3 микрофонных (1 линия)
Чувствительность максимальная:	
для микрофонного входа, мВ .	0,5
для линии, В	1,55
Выходное напряжение, В	1,55 на 200 Ом
Минимальное отношение сигнал/шум, дБ	66 на выходе усилителя
Запас по линейности входных модулей, дБ	20
Максимальное выходное напряжение, В	7
Выходная мощность усилителя прослушивания, Вт	10

Микшерный усилитель используется в качестве дополнения к магнитофону для записи музыки и речи. У него имеются три независимо регулируемых и корректируемых входа для динамического

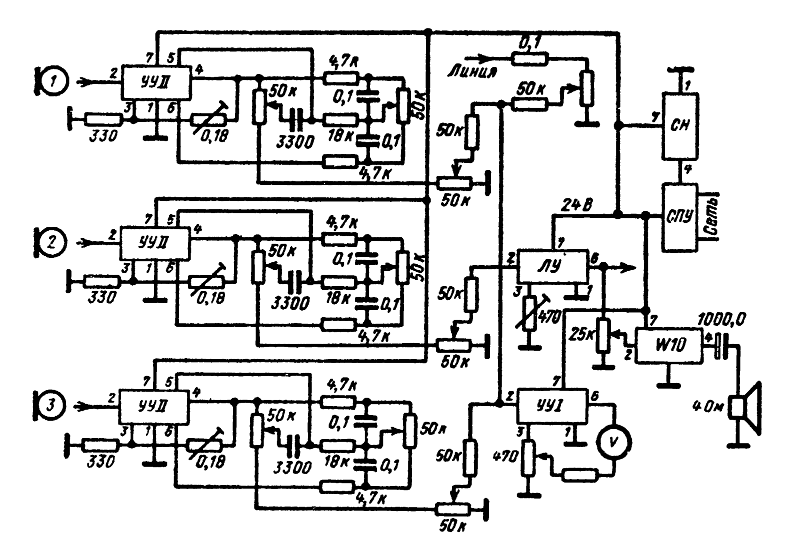


Рис. 54. Микшерный усилитель — схема соединения модулей.

микрофона и один вход для линии с максимальным уровнем напряжения 1,55 В, который служит для подключения второго магнитофона при записи методом play-back. Может питаться от сети или аккумуляторов. Использование сухих элементов не рекомендуется из-за значительного тока потребления контрольного усилителя, который используется для акустического контроля качества записи. Усилитель дополнен индикатором амплитуды сигнала (рис. 54).

Используемые модули. УУII — 3 шт., УУI — 1 шт, ЛУ — 1 шт., W10 — 1 шт, СН — 1 шт., СПУ — 1 шт.

83. ПРИМЕР ТЕАТРАЛЬНОГО ЗВУКОУСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА (РЕЖИССЕРСКИЙ ПУЛЬТ)

Технические данные

Напряжение питания, В	120/220 от сети
Число входов:	
микрофонных	2
линейных	2
магнитофонных	2
Число выходов	5
Выходное напряжение, В	
на 200 Ом	1,55
максимальное	7
Мощность усилителя основного прослушивания, Вт	10
Мощность усилителя информационной линии, Вт	25

Чувствительность входов	0,5 мВ у микрофонного входа 5 мВ/1 кГц для подключения магнитофонной головки; 1,55 В у линейного входа
Запас по линейности входных модулей, дБ	20
Минимальное отношение сигнал/шум .	66 дБ на выходе 1,55 В

Устройство предназначено для создания звукового сопровождения в театре. Рассматривается часть, используемая во время представления. Два входа, предназначенных для динамических микрофонов, служат для прослушивания сцены (для звуковой режиссуры) и уборных артистов. Магнитофонные входы позволяют подключить два магнитофона с низкоомными головками, скорость 38 см/с. Линейные входы предназначены для подключения других устройств.

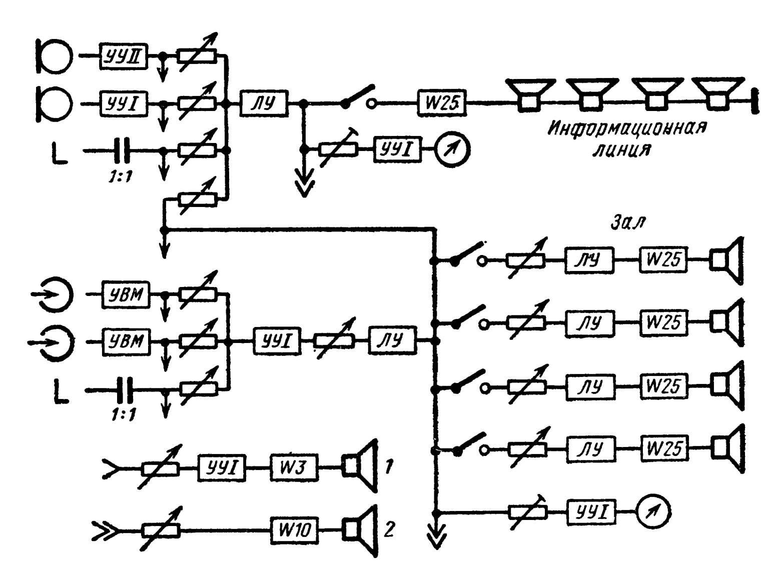


Рис. 55. Пример театрального звукоусилительного устройства — схема соединений модулей.

1 — предварительное прослушивание, *2* — основное прослушивание

Пульт включает два смесителя, один для озвучивания зала, другой для создания так называемой информационной линии (звуковое сопровождение и возможные указания) для участников спектакля. Перед каждым регулятором имеется возможность предварительного прослушивания подводимого к нему сигнала, что необходимо для установки необходимого места записи на магнитофоне, установки

уровня сигналов от микрофонов и т. д. Выходы контролируются измерителем уровня. Информационная линия питается от усилителя W25, к которому подключены громкоговорители в уборных актеров, включенные в последовательные и параллельные группы. Выход линии зрительного зала подключен к кнопочному переключателю выбора направления. Здесь выбирается, куда пойдет результирующий звуковой сигнал. В большинстве случаев достаточно четырех выходных направлений: левая сторона сцены, центр, правая сторона сцены, потолок или задняя стена зрительного зала. При помощи регу-

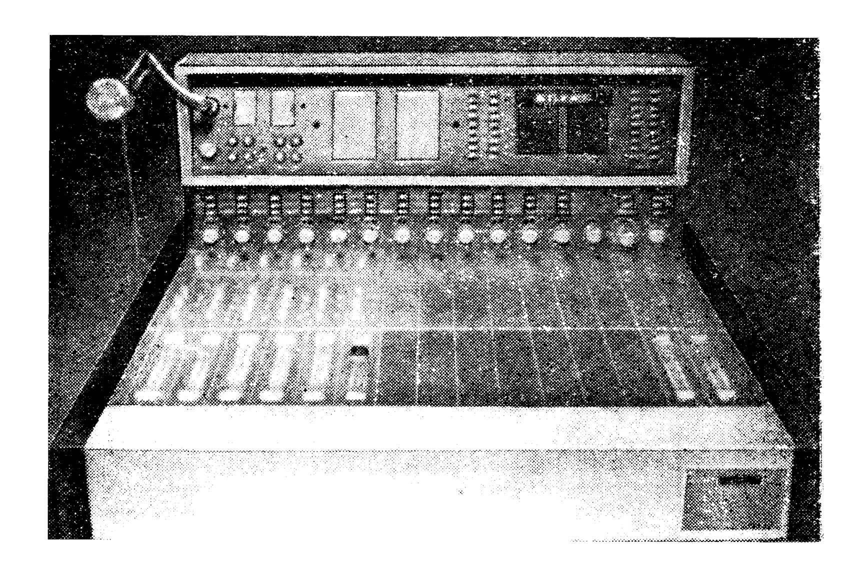


Рис. 56. Режиссерский пульт W. Studer (Швейцария).

ляторов предварительно устанавливается уровень сигнала, затем он подается на усилители, работающие на линию, и усилители мощности. Для упрощения манипуляций пульт снабжен двумя независимыми линиями прослушивания, одна является главной и может выбрать выход в зал или информационную линию. Вспомогательная линия служит для регулировки устройств и контроля наличия сигнала.

Для питания необходимы два источника напряжения 24 В при токе 1 А, а также два источника напряжения 40 В с возможностью потребления 100 Вт. Входы и выходы всего устройства отделены от линий при помощи трансформаторов с коэффициентами трансформации 1 : 1. Благодаря этому внешние соединяющие провода могут быть симметричными, экранированными двухпроводными кабелями, которые в наименьшей степени подвержены паразитным наводкам (рис. 55).

Используемые модули: УУI — 3 шт, УУII — 3 шт, УВМ — 2 шт., ЛУ — 6 шт., W3 — 1 шт., W10 — 1 шт., W25 — 5 шт., а также 2 питающих устройства 24 В/1 А и 2 питающих устройства 40 В/2,5 А.

На рис. 56 представлен режиссерский пульт фирмы W. Studer, который является одним из лучших с технической и эстетической точек зрения.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

УСИЛИТЕЛИ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ СХЕМАМИ

Усилители с интегральными схемами представляют собой в качественном отношении новый этап конструирования низкочастотных усилителей. Они позволяют достичь отличных параметров устройств за цены, доступные радиолюбителям. Однако этот метод нельзя рекомендовать тем, у кого нет достаточного опыта, потому что правильная работа и полное использование преимуществ интегральных схем предполагает наличие определенных знаний в области измерений и возможности использования таких измерительных приборов, как осциллограф, измеритель искажений и т. д. Поэтому и описания этих схем предполагают достаточные знания и не так подробны, как у усилителей на транзисторах.

Автор имел образцы интегральных схем первых серий, которые появились в продаже, и так как полученные результаты были очень интересны, то он решил опубликовать их вместе с материалом о модульной системе усилителей на транзисторах. Пять описаний, представленных в этой главе, составляют своего рода минисистему, которая демонстрирует возможности новой технологии. Здесь используются обычные детали, размеры которых не соответствуют размерам интегральных схем, но они имеют то преимущество, что их легко приобрести. Используя специальные детали, можно было бы добиться значительно меньших размеров усилителей, но автор не ставил себе этой цели и в предыдущих главах.

После освоения основных принципов планарной технологии в 1968 г. TESLA начала производство монолитных интегральных схем на керамической основе. В течение двух лет удалось добиться производства довольно широкого ассортимента монолитных микросхем, которые по своим качествам и параметрам сравнимы с подобными заграничными изделиями. Теперь они появились в продаже и стали доступны широкому кругу радиолюбителей.

84. ВЫБОР ТИПА ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Монолитные интегральные схемы выполняются на одной керамической пластинке, размеры которой 1×1 мм. Каждая схема содержит планарные транзисторы, а иногда и резисторы, созданные при помощи диффузионной технологии. Так как структура монолитной интегральной схемы представляет собой единую объемную структуру небольшого размера, то при изменении температуры окружающей среды изменяется и температура всей схемы. Большинство интегральных схем может работать в диапазоне температур 55—125° С.

Благодаря используемой технологии сами транзисторы имеют довольно высокую граничную частоту (сотни мегагерц), поэтому монолитные интегральные схемы достигают очень хороших значений граничных частот; усиление по напряжению колеблется в пределах 60—80 дБ.

Для того чтобы интегральная схема могла быть использована, ее нужно дополнить дискретными элементами, которыми устанавливается рабочая точка, усиление и заданная частотная характеристика. Так как структура монолитной интегральной схемы предопределяет и ее включение в цепь, то способ использования этих схем коренным образом отличается от использования дискретных активных элементов. Нельзя выбрать любое включение интегральной схемы, так как изготовитель обычно предлагает множество рекомендаций, выполнение большинства которых обязательно и является условием нормальной работы интегральной схемы.

Изготовитель интегральных схем TESLA Рожнов выпускает много типов интегральных схем, пригодных для использования в усилителях НЧ. Это прежде всего интегральные схемы серии МАА..., ожидается появление усилителей мощности типа МА0402 и МА0403. Для некоторых целей могут быть использованы и интегральные схемы, предназначенные для техники измерений и регулировки, например дифференциальные усилители типа МВА 125 и 145, преобразователи и некоторые объединенные полупроводниковые элементы, которые представляют собой, собственно говоря, переход между дискретными полупроводниковыми элементами и интегральными схемами.

При выборе типа интегральной схемы нужно как можно более точно придерживаться данных, указанных в каталоге изготовителя, так как конструктивные возможности каждого типа определяются внутренней структурой интегральной схемы Из максимального допустимого напряжения вытекает и максимальное выходное напряжение, а так как это усилители постоянного тока, то нежелательны колебания или слишком большой разброс напряжения питания.

Если предполагается использовать интегральную схему в качестве усилителя малых сигналов, то нужно выбрать такую, которая позволит выбрать рабочую точку с учетом достижения как можно меньшего собственного шума усилителя. Кроме того, желательно, чтобы такая интегральная схема позволяла осуществлять внутреннюю регулировку усиления при помощи пассивного элемента, подключенного к ее выводам.

Из всего вышесказанного вытекают основные различия в применении микросхем по сравнению с дискретными полупроводниковыми элементами Так как используемая технология позволяет производить сразу целый ряд интегральных схем одного типа, то обширность ассортимента не является главным фактором, определяющим цену изделия

85. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ УСИЛИТЕЛЕЙ НЧ (УСИЛИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ)

Согласно каталогу TESLA за 1970—1971 гг. имеются четыре типа интегральных схем, которые могут быть использованы в качестве усилителя напряжения. Это МАА145, МАА245, МАА325 и МАА435. В перспективе серия МАА500. Это так называемые операционные усилители.

Интегральные схемы типа МАА115, МАА125 и МАА145. Каждая из них представляет собой трехкаскадный усилитель с непосредственной связью по схеме с ОЭ. Все три эмиттера подключены к одной точке и к ней же подключен вывод корпуса. Далее схема содержит два диффузионных сопротивления около 3,5 кОм. Схема включения и нумерация выводов представлена на рис. 57. Типы интегральных схем отличаются друг от друга только напряжением питания, кроме того, у микросхемы МАА115 усиление меньше.

Интегральные схемы МАА225 и МАА245. Это трехкаскадный усилитель с непосредственной связью, использующий схему включения с ОЭ Однако все три эмиттера выведены отдельно. К эмиттеру

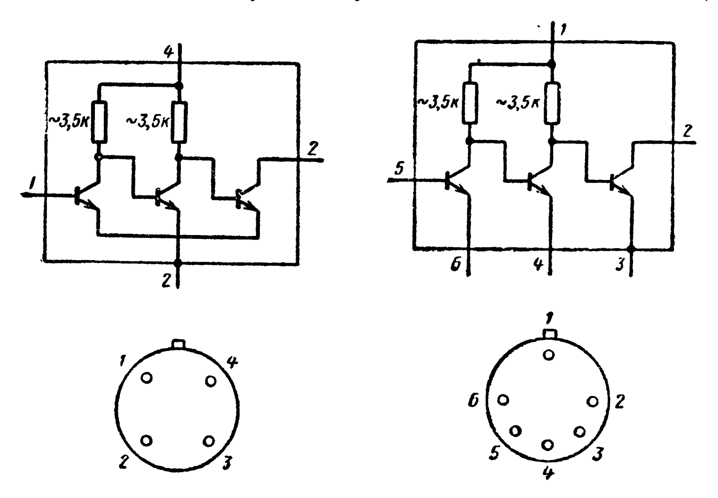


Рис 57. Интегральные схемы МАА125 и МАА145. Схема и расположение выводов.

Рис. 58. Интегральные схемы МАА225 и МАА245. Схема и расположение выводов.

третьего транзистора подключен корпус. Для достижения внутренней изоляции элементов этот вывод должен быть подключен к точке, имеющей по сравнению с остальными выводами наибольший отрицательный потенциал. Далее схема содержит два диффузионных сопротивления 3,5 кОм. Схема включения и нумерация выводов представлены на рис 58. Типы отличаются друг от друга только максимальным допустимым напряжением питания. Остальные параметры примерно одинаковы, а различия обусловлены возможностью использовать более высокое напряжение питания.

Интегральная схема типа МАА325. Структура МАА325 представляет собой трехкаскадный усилитель. У первого транзистора самостоятельно выведены все три вывода, в его коллекторной цепи имеется диффузионное сопротивление 3,5 кОм. Между двумя другими транзисторами непосредственная связь и их эмиттеры выведены. У второго транзистора в коллекторной цепи сопротивление 3,5 кОм. Эмиттер третьего транзистора соединен с корпусом. Для правильной

работы интегральной схемы корпус должен иметь потенциал, который по сравнению с потенциалами других выводов будет самым низким Схема включения и нумерация выводов представлена на рис. 59. Отдельные транзисторы отличаются по своим свойствам. У первого транзистора самый большой коэффициент усиления и наименьший коэффициент шума, а у третьего транзистора наибольшее напряжение $U_{к\,эо}$ и пиковый ток эмиттера $I_{э\,макс}$. Усилитель имеет гарантированную границу максимального коэффициента шума, поэтому отдельно предписано значение эмиттерного тока первого транзистора, который в первую очередь оказывает влияние на уровень шума интегральной схемы этого типа.

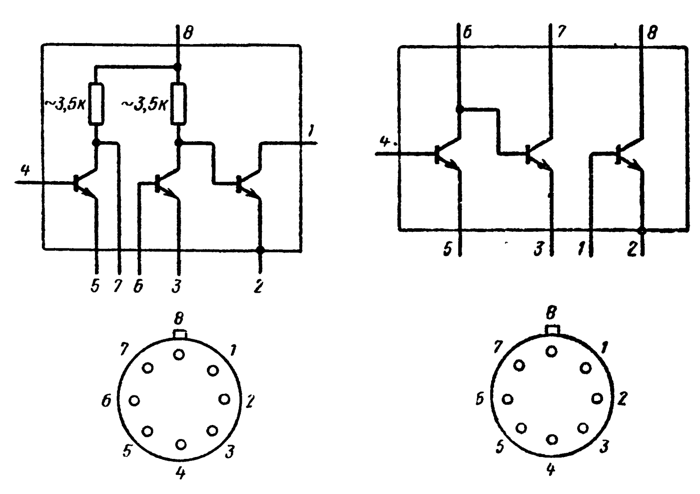


Рис 59. Интегральные схемы МАА325. Схема и расположение выводов.

Рис. 60. Интегральные схемы МАА435. Схема и расположение выводов.

Интегральная схема МАА435. Это трехкаскадный усилитель. Первые два транзистора имеют непосредственную связь и включены по схеме с ОЭ Третий транзистор не зависит от первых двух Его эмиттер подключен к корпусу и должен иметь потенциал, наиболее отрицательный по сравнению с другими выводами Схема не содержит никаких диффузионных сопротивлений, поэтому можно выбрать любую рабочую точку Схема включения и нумерации выводов представлена на рис. 60. У первого транзистора большой коэффициент усиления при очень малом токе коллектора, составляющем сотни или даже десятки микроампер. Это необходимо для получения низкого уровня шума усилителя. Изготовитель гарантирует границу максимального уровня шума при токе 100—200 мкА. У третьего транзистора самое большое напряжение $U_{к\,эо}$ и наибольшая возможная нагрузка по току и мощности. Его параметры таковы, что он может работать в каскадах предварительного усиления мощности или использоваться в качестве УВЧ. Его граничная частота $f_т$ при токе 1 мА превышает 100 МГц.

86. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ TESLA

Схемы типа MAA115, MAA125, MAA145 найдут применение в самых простых усилителях, где желательно иметь как можно меньшее число элементов. Здесь отпадает возможность использования отрицательной обратной связи, корректирующей характеристику усилителя. Входное сопротивление мало. Усиление можно регулировать только при помощи входного делителя напряжения.

Интегральные схемы типа MAA225 и MAA245 пригодны для использования в различных усилителях постоянного и переменного тока, кроме усиления сигналов порядка единиц микровольт. Выведенные эмиттеры всех трех транзисторов позволяют вводить любые отрицательные обратные связи, в том числе осуществить частотную коррекцию усиления. У транзисторов высокая граничная частота (около 100 МГц), поэтому усилители с этими интегральными схемами очень стабильны даже при наличии глубокой частотно-зависимой отрицательной обратной связи. Они найдут применение в универсальных усилителях напряжения порядка нескольких милливольт; учитывая свойства третьего транзистора, его можно использовать в качестве предоконечного каскада для комплементарной пары мощных транзисторов. Комбинация интегральной схемы этого типа и комплементарной пары GC510K — GC520K или GC511K — GC521K представляет собой высококачественный усилитель для переносных приемников и подобных устройств. Выходная мощность такого усилителя может достигать 2 Вт при напряжении питания 12 В и искажениях меньше 1%.

Интегральные схемы типа MAA325 предназначены для использования в усилителях с низким уровнем шума. Структура схемы позволяет использовать внутреннюю пассивную регулировку усиления. Первый транзистор можно использовать отдельно или вместе с двумя другими транзисторами. Высокая граничная частота позволяет использовать его в качестве высокочастотного усилителя. Основная же область использования усилителя с интегральной схемой — это усиление низкочастотных сигналов переменной величины от таких источников, как магнитофонные головки, электродинамические звукосниматели и везде там, где желательно производить регулировку усиления за первым транзистором. Регулировка усиления может осуществляться и при связи по постоянному току всех трех транзисторов. Входное сопротивление усилителя можно произвольно устанавливать при помощи резистора в эмиттерной цепи первого транзистора, который не должен быть шунтирован или при помощи включения «bootstrap». Частотная коррекция в этом случае производится у следующей пары транзисторов. Используя эту интегральную схему, можно создать усилитель воспроизведения даже для профессионального магнитофона, причем отличного качества. Если соединить выводы *6* и *7*, то MAA325 может заменить схему MAA225 в любом устройстве. Такая замена выгодна с точки зрения шума, так как у микросхемы MAA225 не гарантируются шумовые качества. Второй и третий транзисторы можно также использовать в качестве предоконечного усилителя для комплементарной мощной пары, хотя здесь имеется ограничение, обусловленное низким максимальным напряжением $U_{\text{кэо}}$ третьего транзистора.

Интегральные схемы типа MAA435 пригодны для универсального использования в низкочастотных усилителях. Так как здесь нет диффузионных сопротивлений, то может быть выбрана любая ра-

бочая точка. Цепи обратной связи также могут иметь любые параметры. Электрические свойства этой схемы подобны свойствам МАА325. Третий транзистор, имеющий самостоятельные выводы, может быть использован в качестве возбуждающего транзистора комплементарной пары транзисторов GD607—GD617 или GD608—GD618. Используя интегральную схему, можно построить усилитель с выходной мощностью 5 Вт на сопротивлении нагрузки 4 Ом, с чувствительностью порядка милливольт и входным сопротивлением порядка десятков килоом. Интегральные схемы типа МАА435, кроме того, пригодны для использования в микрофонных усилителях. В этом случае усиливает пара транзисторов, третий, включенный по схеме с ОЭ, может служить в качестве усилителя для коррекции тембра на высоких и низких частотах. Регулировка усиления в пределах 10 дБ может быть осуществлена в цепи отрицательной обратной связи, грубая регулировка — входным делителем напряжения по десяткам децибел. Микрофонный усилитель с такой интегральной схемой может использоваться для входного напряжения порядка ста микровольт и имеет достаточное отношение сигнал/шум.

87. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ ФИРМОЙ TESLA

В течение 1970 г. были окончены разработки и выпущена контрольная серия новых интегральных схем для использования в НЧ технике. Это прежде всего серия операционных усилителей типа МАА501, МАА502, МАА503 и МАА504. Усилители полностью эквивалентны изделиям американской фирмы Fairchild серии МКА709. Из европейских фирм их выпускают также Siemens и Philips. Лучшим типом является МАА502. Кроме типа МАА503 все имеют корпус ТО-5. Интегральная схема МАА503 выпускается в корпусе «Dual-in-line» [1], поэтому она должна быть дешевле, чем МАА504, с которой у нее будут одинаковые параметры. Можно предположить, что МАА503 в смысле цены будет доступна и радиолюбителям, как раз благодаря этому типу корпуса. Дело в том, что помещение в корпус представляет одну из главных статей расходов на изготовление интегральной схемы.

Интегральные схемы типа МАА501—МАА504 найдут применение в усилителях напряжения. Их также нужно дополнить несколькими дискретными элементами, которыми устанавливается рабочая точка и производится внешняя коррекция. У усилителей имеется два симметричных входа и один несимметричный выход. Это позволяет ввести любую обратную связь. Источник питания должен быть симметричным, с напряжением максимально 2×18 В. Интегральные схемы нужно предохранять от короткого замыкания на выходе. Усиление напряжения операционных усилителей достигает 90 дБ. Такое большое усиление позволяет ввести глубокую обратную связь и этим добиться малых искажений. При помощи операционных усилителей можно получить отличные параметры сравнительно простыми средствами.

Следующими интересными интегральными схемами являются усилители мощности МАО402 и МАО403. Они эквивалентны изде-

---

[1] Пластмассовый корпус с двумя рядами штампованных выводов. (*Прим. ред.*)

лиям фирмы Plessey SL420 и предназначены прежде всего для бытовой электроники. Выпускаются в корпусе типа «Dual-in-line» Оба типа одинаковы, отличаются они только максимальным значением напряжения питания и выходной мощности. У MAO402 мощность составляет 2 Вт, напряжение 16 В, а у MAO403 мощность 3,5 Вт при напряжении питания до 20 В. Интегральная схема содержит 14 транзисторов типа *n-p-n*.

Интегральная схема TESLA MAO402 или MAO403 позволяет реализовать усилители с чувствительностью 100—200 мВ при полной мощности, причем размеры действительно минимальные. Достаточно четырех резисторов и пяти конденсаторов, чтобы получить отличный усилитель с большим входным сопротивлением. Для теплоотвода достаточно иметь поверхность около 50 см². Такая интегральная схема годится для автомобильного радиоприемника, так как может работать при температуре до 125° С, или для высококачественных переносных приемников. Кроме того, она позволит создать простые усилители для проигрывателей и магнитофонов, а также для целей автоматизации.

Последними в этом ряду являются дифференциальные усилители типа MBA125 и MBA145. Они предназначены в первую очередь для области автоматики и измерительных приборов. Усилитель составляют два симметрично включенных транзистора с диффузионными сопротивлениями примерно 3,5 кОм в коллекторной цепи. Третий транзистор работает как источник эмиттерного тока. Такая интегральная схема может быть использована как симметричный усилитель или как электронный смеситель двух сигналов. Кроме того, ее можно включить как каскодный усилитель. В низкочастотной технике эта интегральная схема позволит создать простой по конструкции, чувствительный и дешевый индикатор пикового уровня с хорошей стабильностью.

88. ПРИМЕРЫ ВКЛЮЧЕНИЙ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИЗГОТОВИТЕЛЕМ

Фирменная литература содержит много примеров схем с интегральными схемами TESLA. Можно рассмотреть схему корректирующего усилителя и две схемы усилителей мощности. И здесь возможна определенная типизация включения, которая отмечалась в схемах с «классическими» транзисторами.

Корректирующий усилитель для проигрывателя, использующий ИС (интегральная схема) типа MAA225, представлен на рис 61. Усилитель предназначен для электродинамического звукоснимателя, поэтому усиление должно зависеть от частоты, в данном случае согласно норме IEC (RIAA). Первый транзистор включен по схеме «boot-strap», что позволяет получить достаточно большое входное сопротивление. В данном случае оно будет больше 50 кОм. Частотно-зависимая обратная связь идет с коллектора третьего транзистора на эмиттер второго транзистора через последовательное соединение двух параллельных *RC*-цепочек. С выхода еще идет частотно-независимая обратная связь по постоянному току для стабилизации и установки рабочей точки всей схемы. Максимальное напряжение, которое можно подавать на вход ИС, равно примерно 10 мВ. На частоте 1 кГц усиление около 100 дБ, отношение сигнал/шум около 50 дБ.

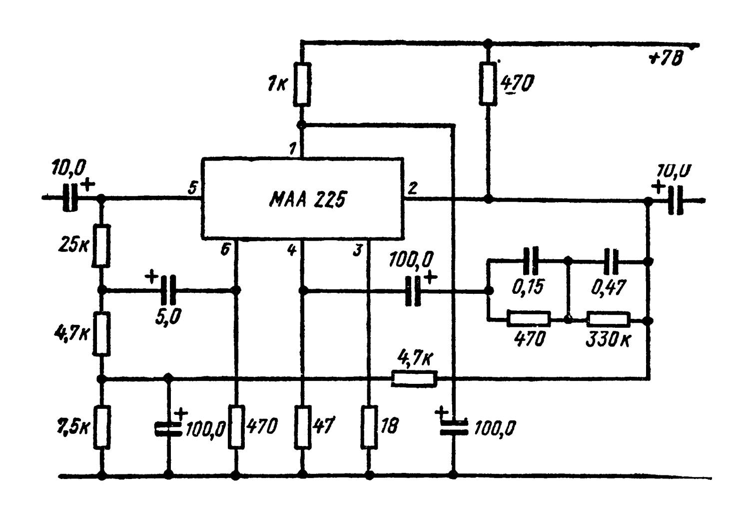


Рис. 61. Корректирующий усилитель с интегральной схемой МАА225.

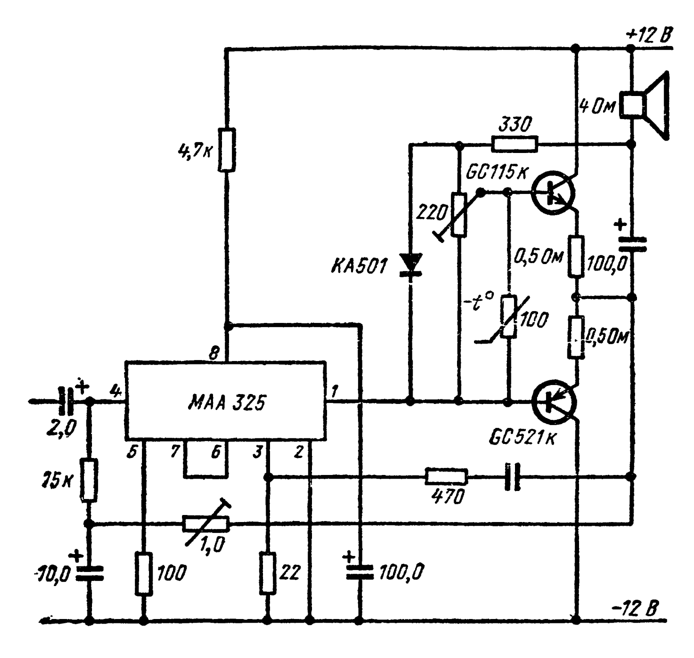


Рис. 62. Усилитель мощности с интегральной схемой МАА325 и транзисторами GC511К и GC521К.

Такую же схему можно использовать и для других источников сигналов, например для магнитофонов, если изменить обратную связь между коллектором третьего транзистора и эмиттером второго транзистора. Заменив частотно-зависимое звено резистором, получим универсальный усилитель с равномерной характеристикой, который найдет широкое применение в НЧ технике. Так же может быть включена и интегральная схема MAA325, причем выводы *6* и *7* нужно соединить. В этом случае наблюдается улучшение с точки зрения шума, так как изготовитель не гарантирует у оригинала максимальный уровень шума.

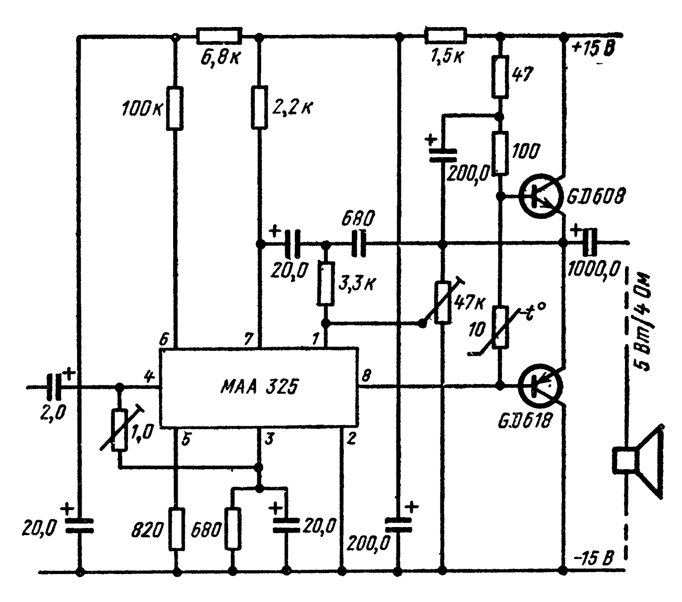


Рис 63. Усилитель мощности с интегральной схемой MAA435 и транзисторами GD608 и GD618.

Усилитель мощности на транзисторах GC511K и GC512K с интегральной схемой MAA325 в качестве возбудителя представлен на рис. 62. Комплементарные транзисторы возбуждаются парой, которую составляют второй и третий транзисторы интегральной схемы MAA325. Здесь осуществляется связь по постоянному току. Ток покоя стабилизирован диодом и термистором, имеющим тепловую связь с парой мощных транзисторов через радиатор В эмиттерной цепи второго транзистора включено сопротивление 100 Ом, которое увеличивает его входное сопротивление. Первый транзистор может работать в любой цепи и в любом включении. Возбуждающий усилитель можно было бы реализовать и при помощи всех трех транзисторов интегральной схемы, если соединить выводы *6* и *7*. В усилителе можно использовать без значительных изменений параметров также MAA225 или MAA245.

Усилитель мощности на транзисторах GD608 и GD618 с интегральной схемой MAA435 в качестве возбудителя представлен на рис. 63. Первые два транзистора представляют собой предварительный усилитель, который может быть типа корректирующего. Третий транзистор интегральной схемы работает как возбудитель комплементарной пары мощных транзисторов. Для получения максимальной мощности между вторым и третьим транзистором связь только по переменному току. Усилитель мощности температурно компенсирован термистором и достигает выходной мощности 5 Вт. Сопротивление нагрузки 4 Ом при напряжении питания 15 В. Рабочая точка предварительного усилителя устанавливается переменным резистором 1 МОм, оконечного каскада при помощи резистора с сопротивлением 47 кОм. Питание интегральной схемы должно быть тщательно отфильтровано. Входное сопротивление усилителя во всем диапазоне больше 10 кОм, чувствительность лучше 10 мВ Эта схема представляет собой качественный усилитель, который может быть использован и в сетевом радиоприемнике.

89. ОБЗОР УСИЛИТЕЛЕЙ

С учетом взаимосвязанности и возможности комбинирования усилителей с интегральными схемами и усилителей на транзисторах были выбраны, рассчитаны и испытаны усилители напряжения и мощности, использующие рассмотренные выше интегральные схемы Из всех возможных вариантов было выбрано три усилителя напряжения и два усилителя мощности. Выбор параметров производился по тому же принципу, как и у усилителей на транзисторах, т. е. искажения меньше 1% при заданной мощности, обеспечение максимального выходного напряжения у усилителей напряжения и достижение правильным выбором типа интегральной схемы оптимального коэффициента шума.

Были рассчитаны следующие усилители с интегральными схемами:

1) универсальный предварительный усилитель на MAA225;

2) корректирующий усилитель на MAA325, для магнитофона или проигрывателя с возможностью получения линейной характеристики усиления;

3) предварительный усилитель для микрофона на MAA435;

4) усилитель мощности на MAA245 и транзисторах GC511K и GC521K, выходная мощность 2 Вт;

5) усилитель мощности на MAA435 и транзисторах GD607 и GD617, выходная мощность 4 Вт.

90. ЭЛЕМЕНТЫ И КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ СХЕМАМИ

В усилителях использованы элементы, выпускаемые фирмой TESLA.

Резисторы миниатюрные, типа TR112a или TR113a. В переносных устройствах лучше использовать резисторы типа WK65053. Используются элементы серии E12, допуск A, т е. разброс параметров 10%. Электролитические конденсаторы миниатюрные, предназначенные для печатных схем, с односторонними выводами. Лучше всего подойдут конденсаторы с пластмассовым корпусом. Это конденса-

торы TE002—TE006 Типы TC941—TC943 нежелательны, так как у них короткие выводы. Остальные конденсаторы выбираются бумажные или эпоксидные. Потенциометры на печатной плате выбираются типа TP037 или TP038. Если они размещены вне платы, например у микрофонного усилителя, то выбирается тип TP280, отличающийся надежностью. Если необходимы миниатюрные элементы, то используются потенциометры TP052.

Усилители собираются на печатных платах. Так как в продаже нет подходящей панельки для включения интегральной схемы, то ее нужно тоже припаивать. Габариты усилителя 7×7 см. Можно использовать разъемы или выводы. Теплоотводящие пластины мощных транзисторов можно разместить произвольно, а выводы этих транзисторов присоединить к печатной плате при помощи проводов. Корректирующие контуры в цепи отрицательной обратной связи могут быть размещены на плате или вне ее. Изготовление печатных плат уже было описано, в данном случае нужно особенно тщательно проверить правильность печатной схемы, так как любая ошибка может привести к выходу из строя интегральной схемы, а у усилителя мощности и мощных транзисторов.

91. ПРОВЕРКА РАБОТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Так как в продаже нет панельки для подключения интегральной схемы серии MAA225 — MAA435 без пайки, то для испытаний была изготовлена специальная печатная плата, к которой транзисторы или интегральные схемы припаиваются так, чтобы их можно было в любое время снять. ИС припаивают небольшим количеством олова со стороны печатных проводников. Остальные элементы припаиваются также с этой стороны. Нужно собрать макет схемы, которая бы соответствовала параметрам усилителя по постоянному току. Только так можно проверить, подойдут ли регулировочные элементы для установки выбранной рабочей точки и имеют ли ИС достаточное усиление. Печатная схема платы представлена в приложении (см. рис. П-13).

Выводы интегральной схемы нужно во время пайки охлаждать пинцетом. Так как выводов у интегральной схемы довольно много, то может произойти перегрев всей структуры. Поэтому пайка должна производиться быстро. Для работы с интегральными схемами можно рекомендовать пистолетный паяльник. Кроме нагрева нужно учесть также возможность передачи электростатического заряда, который может повредить интегральную схему. Пробой любого перехода вызывает обычно выход из строя всей интегральной схемы. Поэтому, припаивая интегральную схему к плате, нужно отключить все провода, ведущие к измерительным приборам и т. д.

При проверке интегральной схемы устанавливается точное значение напряжения питания, а затем измеряется напряжение на всех выводах ИС. Полученные значения сравниваются с обозначенными на схеме.

Усиление интегральной схемы можно измерить двумя способами. Во-первых, по инструкции изготовителя, т. е. по схеме с общими эмиттерами, или по схеме, в которой ИС будет действительно работать.

Испытательная плата может пригодиться и в том случае, когда нужен усилитель с другой частотной характеристикой, чем дано в

описании. В этом случае собирается весь усилитель, а цепи обратной связи испытываются как раз на такой вспомогательной плате. Учитывая большое число выводов интегральной схемы, не рекомендуется собирать экспериментальную конструкцию с беспорядочным нагромождением проводов, так как при соприкосновении двух выводов может выйти из строя вся ИС. По окончании проверки транзисторы и интегральные схемы отпаивают, а плату очищают, подготавливая для другого использования. Испытательную плату изготавливают из материала kuprextit или подобного ему материала, который может выдержать несколько паек.

Интегральные схемы нельзя перегружать. Особенно не рекомендуется использовать источник с бóльшим, чем необходимо, напряжением и применять гасящие сопротивления. При неправильной установке рабочей точки может произойти пробой какого-либо перехода, т. е. повреждение всей интегральной схемы. У некоторых интегральных схем можно получить лучшие параметры, чем указано в технических условиях, особенно это касается максимально допустимого напряжения питания, но измерение этих значений не так просто, так как при этом мы находимся на границе пробоя перехода. Простого метода, который может реализовать радиолюбитель, пока нет.

Нужно помнить, что корпус интегральной схемы соединен проводником с третьим эмиттером, и не допускать соприкосновения корпуса с деталями и проводами. Во время испытаний можно воспользоваться куском изоляционной трубки, который надевают на корпус интегральной схемы. То же самое можно рекомендовать и у готовых усилителей (за исключением усилителей мощности), в случае, когда ИС не загружена максимально.

92. НАЛАЖИВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ СХЕМАМИ

Осмотрев собранный усилитель, подключаем его через миллиамперметр к источнику напряжения, как указано в описании. В качестве источника лучше использовать батареи. Если нет возможности использовать электронные измерительные приборы, то рабочая точка устанавливается по данным на схеме при помощи универсального измерительного прибора типа DU10*, PU120. Одновременно измеряется потребляемый от источника ток.

Если имеется звуковой генератор, низкочастотный милливольтметр и осциллограф, то можно измерить максимальное выходное напряжение усилителя, выбрать оптимальную рабочую точку, которая соответствует состоянию, при котором при перегрузке усилителя синусоидальным сигналом происходит двустороннее симметричное ограничение обеих полуволн выходного сигнала. Далее можно контролировать усиление или его зависимость от частоты. Измерения производятся при подключении на выходе усилителя осциллографа, это предупреждает искажение формы сигнала. При этих измерениях надо обратить внимание на то, чтобы корпуса приборов были соединены друг с другом, иначе при подключении или отключении приборов может произойти пробой интегральной схемы.

Осциллографом, кроме того, проверяется, не имеет ли усилитель

---

* Любой ампервольтомметр с входным сопротивлением более 10 кОм/В. (*Прим. ред.*)

тенденцию к генерированию на сверхзвуковых частотах, особенно при емкостной нагрузке. Если это окажется так, то в этой области нужно ограничить усиление при помощи отрицательной обратной связи; в случае усилителя мощности для этой цели используется звено Boucherot (рис. 64), которое представляет собой последовательную *RC*-цепь; значения ее элементов определяются сопротивлением нагрузки, чаще всего они лежат в диапазоне 5—10 мкс. Эта цепь подавляет колебания в области 100 кГц.

93. ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ С ДИСКРЕТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ И ИНТЕГРАЛЬНЫМИ СХЕМАМИ

Усилители можно произвольно комбинировать, но при этом нужно придерживаться правила, что входное сопротивление последующего каскада должно быть в несколько раз больше выходного сопротивления нагружаемого каскада. Кроме того, должно быть соответствующее напряжение питания, или оно должно быть стабилизировано при помощи опорного диода.

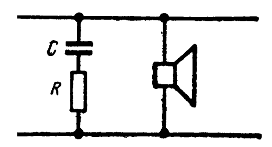


Рис. 64. Цепь Boucherot.

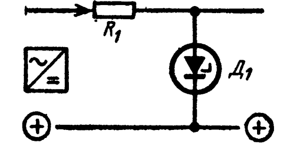


Рис. 65. Стабилизатор с опорным диодом.

Так как у усилителей довольно большое основное усиление, то нужно правильно выбрать точки заземления, чтобы не возникали петли, на которые может наводиться фон переменного тока. Особенно этому подвержены усилители постоянного тока с равномерной частотной характеристикой в области низких частот. Общие провода всех усилителей должны быть соединены; экранированные соединяющие провода подсоединяются к общему проводу только одним концом, а все устройство должно быть подсоединено к металлическому корпусу только в одной точке.

С точки зрения шумов нежелательно использовать источники, имеющие при малом уровне сигнала большое внутреннее сопротивление. Оптимальное внутреннее сопротивление лежит в диапазоне единиц килоом. Влияние сопротивления генератора сигнала не учитывается, если входное сопротивление усилителя хотя бы в десять раз больше и если уровень сигнала не слишком мал, так как в этом случае нежелательный завал частотной характеристики не превысит 1 дБ.

Всю систему рекомендуется экранировать, так как благодаря высоким граничным частотам интегральных схем усиление усилителей в области длинных и средних волн довольно велико и возможны помехи со стороны местных радиовещательных передатчиков; детектирование может происходить на любом переходе интег-

ральной схемы и помеха может появляться на фоне основного сигнала. Это явление может быть признаком наличия петли в общем проводе и имеет место главным образом у микрофонных предварительных усилителей. В случае необходимости на вход устройства подключается высокочастотный фильтр.

94. ПИТАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ СХЕМАМИ

У усилителей с интегральными схемами должно более точно поддерживаться значение напряжения питания. Это вызвано тем, что допустимое напряжение питания используемых типов ИС сравнительно невелико и его изменение вызывает увеличение искажений при полном возбуждении. Так как это усилители напряжения постоянного тока, то изменение режимов работы ИС вслед за изменениями напряжения питания задерживается за счет зарядки или разрядки фильтрующих электролитических конденсаторов в цепи обратной связи по постоянному току, которая стабилизирует рабочую точку. Если устройство питается от батарей, то рекомендуется делать выводы от отдельных элементов, получая таким образом несколько напряжений питания.

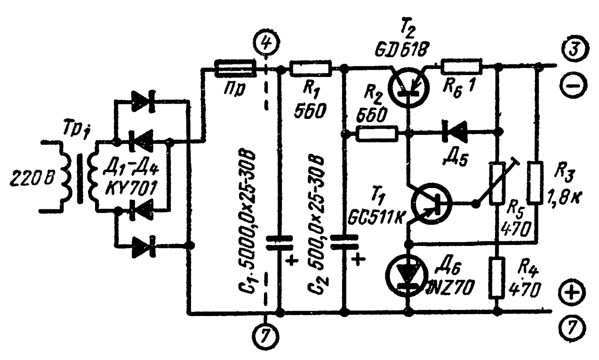


Рис. 66. Схема транзисторного стабилизатора напряжения.

Большие устройства питаются от сетевого источника. Это может быть источник, описанный выше, у которого есть стабилизатор напряжения. Для устройств, имеющих небольшой потребляемый ток, можно воспользоваться опорным диодом, рассчитанным на соответствующее напряжение, с последовательным сопротивлением, выбранным так, чтобы через диод проходил минимальный ток, равный 0,2 $I_{д\ макс}$ ($I_{д\ макс}$ — максимально допустимый ток для данного диода). Схема представлена на рис. 65.

Если используется сетевое питающее устройство, то нужно иметь трансформатор, вторичная обмотка которого обеспечит напряжение 15 В. С помощью такого трансформатора можно получить источник, позволяющий регулировать напряжение в диапазоне 6—12 В, который подойдет для большинства усилителей с интегральными схе-

мами. Источник может обеспечить ток до 500 мА, предохранитель же выбирается исходя из величины, на 20% превышающей действительный максимальный потребляемый ток всей системы. Переделка стабилизатора заключается в замене некоторых деталей. Схема включения — на рис. 66. Остаточное напряжение с частотой 100 Гц (фон) этого питающего устройства не должно превышать 1 мВ.

Для питания оконечного каскада с выходной мощностью 4 Вт используется сетевое питающее устройство, описанное в гл. 13. При помощи переменного сопротивления R_5 добиваются напряжения 15 В. Если нужно питать только два усилителя мощности и несколько усилителей напряжения, то в качестве транзистора T_1 может быть применен транзистор GC511K, а в качестве T_2 OC27. Силовой трансформатор достаточно иметь на 10 Вт. Вторичная обмотка рассчитывается на 19—20 В.

Если от сети питается целая система усилителей, то желательно в провода питания каждого из усилителей включить фильтр, это поможет избежать возникновения связей через внутреннее сопротивление источника. Питающие устройства снабжаются плавкими предохранителями и телефонными лампочками на 24 В и ток 50 мА для индикации, которые при срабатывании предохранителя загораются. Ток, протекающий через лампочку, не может повредить, так как лампочка в этом случае выполняет роль защитного сопротивления. Предохранители должны быть размещены за фильтрующими электролитическими конденсаторами, так как ток заряда этих конденсаторов больше тока, необходимого для срабатывания предохранителя.

95. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Технические данные

Напряжение питания, В	7
Максимальное усиление, дБ	60
Максимальное выходное напряжение, В	2
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	5
Максимальное входное напряжение, мВ	20
Регулировка усиления, дБ	20
Частотная характеристика в диапазоне 30 Гц—20 кГц	±1 дБ
Нелинейные искажения, % (при выходном напряжении 1,55 В)	Менее 1
Размеры (основная плата), см	7×7

Принцип действия. Универсальный усилитель (рис. 67) представляет собой трехкаскадный усилитель, использующий схему с ОЭ. Все три системы интегральной схемы TESLA MAA225 имеют связь по постоянному току, что обусловлено конструкцией ИС. Рабочая точка усилителя определяется отрицательной обратной связью по постоянному току с коллектора третьей системы на базу первой системы. Усиление определяется отрицательной обратной связью по переменному току с выхода усилителя на эмиттер второй системы. Эта связь не оказывает влияния на входное сопротивление усилителя, которое остается постоянным и его нельзя изменить внешними

элементами, так как оно определено конструкцией ИС. Его значение находится в пределах 10—20 кОм.

На усилитель можно подавать напряжение до 20 мВ. Если входное напряжение больше, то его нужно подавать через входной делитель напряжения. Усилитель может быть использован для усиления сигналов в диапазоне амплитуд 1—20 мВ. Так как изготовитель не гарантирует шумовых качеств интегральной схемы, то этот усилитель нельзя рекомендовать для усиления сигналов, уровень которых лежит в диапазоне от десятков до сотен микровольт. Тем не менее можно подобрать ИС этого типа, которые подойдут для этой цели. Усилитель способен усиливать напряжение, частота которого достигает единиц мегагерц, поэтому подводящие провода должны быть экранированы, чтобы высокочастотный сигнал не проникал на вход усилителя. Это явление указывает также на наличие петли в общем проводе и проявляется обычно вблизи сильных радиопередатчиков.

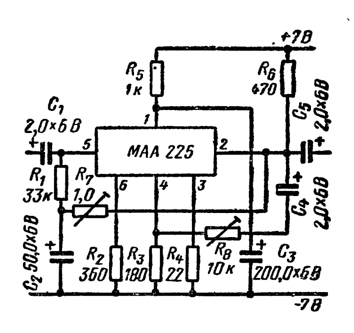


Рис. 67. Схема универсального усилителя.

Печатная плата (см. рис. П-14) имеет припаянные выводы. Если нужно обеспечить возможность замены усилителей, то на край платы можно приклеить разъем и подсоединить к нему выводы (рис. 68).

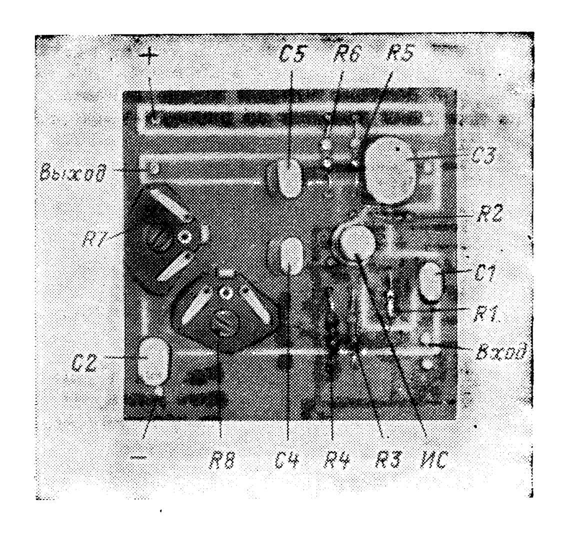


Рис. 68. Универсальный усилитель — размещение элементов.

Используя звуковой генератор и осциллограф, усилитель налаживают при помощи потенциометра так, чтобы при перегрузке усилителя происходило симметричное ограничение выходного сигнала. Без вышеуказанных приборов при помощи потенциометра R_7 добиваемся напряжения на коллекторе третьего транзистора ИС, равного 4 В. Напряжение питания 5—7 В. Чувствительность усилителя устанавливается потенциометром R_8 в цепи обратной связи. Его сопротивление не должно быть менее 500 Ом, чтобы не перегружалась третья система интегральной схемы. В этом случае снижается максимальный выходной сигнал.

96. КОРРЕКТИРУЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ МАГНИТОФОНА ИЛИ ПРОИГРЫВАТЕЛЯ

Технические данные

Напряжение питания, В	7
Максимальное усиление, дБ	66
Максимальное выходное напряжение, В	2
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	5
Максимальное входное напряжение, мВ	20
Минимальное входное сопротивление, кОм	15
Регулировка усиления, дБ	12
Частотная характеристика	Согласно норме записи
Нелинейные искажения (при входном напряжении 1,55 В), %	Меньше 1
Размеры (основная плата), см	7×7

Принцип действия. Корректирующий усилитель (рис. 69) — это трехкаскадный усилитель по схеме с ОЭ. Между каскадами связь по постоянному току, между первой и второй системой имеется регулирующая цепь, при помощи которой можно изменять усиление ИС. Эта цепь не оказывает влияния на рабочую точку всей интеграль-

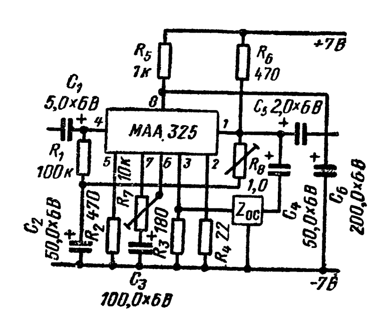


Рис. 69. Схема корректирующего усилителя для магнитофона или проигрывателя.

ной схемы, которая определяется отрицательной обратной связью по постоянному току с выхода усилителя на базу первого транзистора. Так как усиление зависит от частоты, то нужно ввести жесткую частотно-зависимую обратную связь между выходом усилителя и

эмиттером второго транзистора ИС. Усиление всей ИС устанавливается при помощи цепи, содержащей R_1 и C_3, на которую не оказывает влияние обратная связь. Усилитель может быть также выполнен с линейной частотной характеристикой; в этом случае в цепи обратной связи должно быть установлено переменное сопротивление.

Корректирующий усилитель корректирует характеристику передачи напряжения согласно нормализованным постоянным времени, которые были представлены в главах о предварительном усилителе проигрывателя и о магнитофонном усилителе воспроизведения. Точно рассчитать универсальную цепь обратной связи, которая бы удовлетворяла любой скорости ленты или любому звукоснимателю

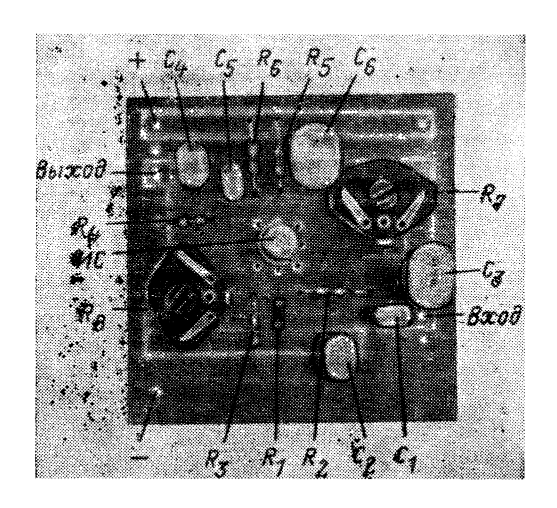


Рис. 70. Корректирующий усилитель для магнитофона или проигрывателя — размещение деталей.

проигрывателя, нельзя. Поэтому здесь не приводятся точные значения элементов цепи обратной связи. Можно использовать приведенные ранее данные, однако точная подгонка и коррекция характеристик возможны лишь при наличии конкретного источника сигнала. Производились испытания этого усилителя в качестве усилителя воспроизведения для скорости 38 см/с с магнитофоном фирмы Lyrec. Было выяснено, что замена типа головки значительно изменила коррекцию в области высоких частот. Далее усилитель был испытан с динамическим звукоснимателем Ortofon, сопротивление которого составляет 2 Ом, и с трансформатором той же фирмы, коэффициент трансформации импеданса которого равен 1 : 1000. Схема удовлетворяла допуску на неравномерность частотной характеристики 4 дБ во всем диапазоне. При использовании трансформатора TESLA пришлось изменить значения некоторых элементов,

что было вызвано влиянием его индуктивности и емкостей. Пьезоэлектрические звукосниматели можно использовать только при включении по схеме с шунтом. Так как в настоящее время в ЧССР нет в продаже электродинамических звукоснимателей, то нельзя предложить точные данные корректирующей цепи. В качестве примера можно взять цепь, представленную на рисунке к табл. 5. Если нужно обеспечить параметры, соответствующие норме Hi-Fi (DIN), то усиление нужно проверять при помощи измерительных пластинок.

На усилитель можно подавать напряжение до 20 мВ. Этого вполне достаточно, так как низкоомные источники сигнала имеют максимальное выходное напряжение порядка единиц милливольт.

Печатная плата предназначена для подключения при помощи проводов. Для обеспечения сменности усилителей можно к ней приклеить разъем (см. рис. П-15, рис. 70).

Рабочая точка устанавливается при максимальном усилении с помощью потенциометра R_8. Это производится так же, как и у универсального усилителя, лучше всего при помощи осциллографа. Правильность выбора сопротивления обратной связи $Z_{о.с}$ проверяется при помощи измерительной ленты или пластинки. Нужно, однако, помнить, что усиление не должно уменьшаться за счет перегрузки выходной цепи обратной связью. Чтобы обеспечить необходимый запас выходного напряжения, который особенно необходим для магнитофонов, нужно выбирать минимальное значение сопротивления $Z_{о.с}$ так, чтобы его абсолютное значение было не менее 1 кОм. Усиление устанавливается при помощи подстроечного сопротивления R_7 так, чтобы корректирующий каскад не был перегружен; у магнитофонов он служит одновременно для настройки по измерительной ленте нулевого уровня, необходимого для контроля записи. Усилитель работает с напряжением питания от 5 до 7 В без замены элементов, изменяется лишь установка потенциометра R_8.

97. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ МИКРОФОНА

Технические данные

Напряжение питания, В	15
Максимальное усиление, дБ	60
Максимальное выходное напряжение, В	4
Номинальное выходное напряжение, мВ	200
Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	10
Максимальное входное напряжение, мВ	100
Минимальное входное сопротивление, кОм	50
Регулировка усиления, дБ	12
Частотная характеристика без коррекции в диапазоне 30 Гц—15 кГц	±1 дБ
Минимальная эффективность коррекции	±12 дБ на 60 Гц и 10 кГц
Нелинейные искажения при равномерной частотной характеристике, %	Менее 1
Размеры (основная плата), см	7×7

Микрофонный усилитель (рис. 71) — это трехкаскадный усилитель, собранный по схеме с ОЭ. Он содержит интегральную схему

TESLA MAA435, обладающую очень хорошими шумовыми качествами, что желательно при усилении малых сигналов. Первая и вторая системы интегральной схемы связаны по постоянному току, ток первой системы меньше 200 мкА. Такая схема включения возможна благодаря отсутствию диффузионных сопротивлений. Усиление, входное сопротивление и значение максимально допустимого сигнала определяются отрицательной обратной связью между коллектором второй и эмиттером первой системы ИС. Рабочая точка этой пары определяется отрицательной обратной связью по постоянному току с эмиттера второй системы на базу первой. Между второй и третьей системами в цепи обратной связи включен корректор с раздельными

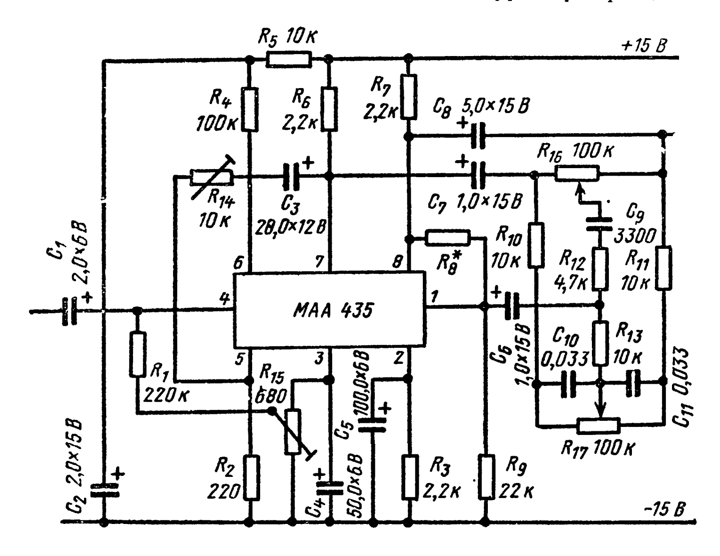


Рис. 71. Схема предварительного усилителя микрофона.

регуляторами для верхних и нижних частот. Потенциометры корректора в своей средней части имеют линейную характеристику. У этого корректора могут быть и другие значения, особенно если требуются другие критические частоты коррекции.

На усилитель можно подавать сигналы до 100 мВ при условии наличия обратной связи по переменному току. Выгодно использовать комбинацию грубой регулировки при помощи входного делителя напряжения и точной регулировки в цепи обратной связи (как это делается у большинства современных профессиональных устройств). Усиление усилителя 40 дБ и запас линейности 26 дБ, как это принято у профессиональных устройств. Такие параметры необходимы для обеспечения возможности микширования. Свойства интегральной схемы позволяют усиливать сигналы порядка сотен микровольт с достаточным отношением сигнал/шум, поэтому она может быть использована для современных динамических микрофонов, чувствительность которых составляет около 200 мкВ/мкбар. Чтобы получить вышеуказанные значения запаса линейности и максималь-

ного выходного напряжения, нужно точно соблюдать указанное напряжение питания. Выход усилителя может быть нагружен регулятором с сопротивлением свыше 10 кОм, который обеспечивает правильную работу корректирующих цепей.

Плата усилителя имеет выводы. Корректор не является составной частью усилителя и подключается к нему экранированными проводами. Если нужна сменность усилителей, то к свободному краю платы можно приклеить разъем (рис. 72 и П-16).

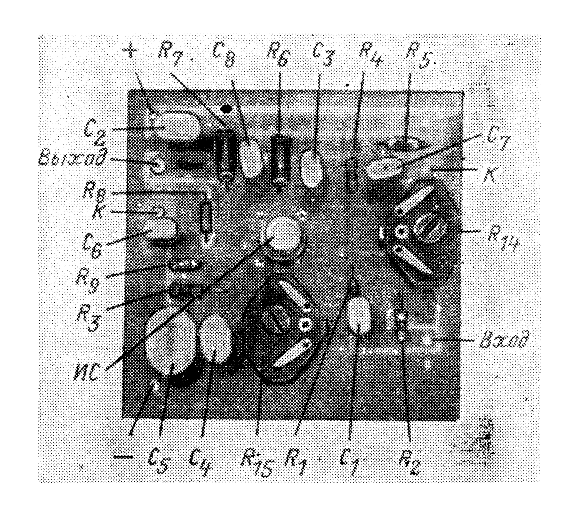


Рис. 72. Предварительный усилитель для микрофона — размещение деталей.

Лучше всего усилитель можно наладить при помощи осциллографа и звукового генератора по симметричному ограничению выходного сигнала. Рабочая точка устанавливается потенциометром R_{15}. Рабочая точка третьей системы регулируется изменением сопротивления резистора R_8. Применение приборов необходимо также при контроле искажений и остальных параметров, которые нужны для правильной работы ИС.

За этим усилителем всегда следует пассивный регулятор и микшерный или компенсационный усилитель (в зависимости от числа линий), который восполняет потерю уровня до 15 дБ, необходимую из-за потерь в цепях коррекции частотной характеристики. Для этой цели выгодно использовать универсальный усилитель с интегральной схемой МАА225.

Входное сопротивление усилителя будет не менее 50 кОм, поэтому его можно использовать для ленточного микрофона с трансформатором, у которого трансформированное сопротивление достигает 50 кОм.

Из-за сравнительно большого входного сопротивления усилитель нужно экранировать от действия электростатических полей. Так как в усилителе нет трансформатора, то он не чувствителен к электромагнитной составляющей поля помех.

98. УСИЛИТЕЛЬ С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 2 Вт

Технические данные

Напряжение питания, В	12
Максимальный потребляемый ток, мА	300
Максимальная выходная мощность, Вт	2
Максимальное выходное напряжение, В	3
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	4
Максимальное входное напряжение, мВ	10
Минимальное входное сопротивление, кОм	10
Регулировка усиления, дБ	12
Частотная характеристика в диапазоне 30 Гц—15 кГц	±1 дБ
Нелинейные искажения, %	Менее 2 при полной мощности
Размеры (основная плата), см	7×7
Минимальная теплоотводящая поверхность, см²	100

Принцип действия. Данный усилитель представляет собой предварительный усилитель и возбудитель комплементарной пары транзисторов, включающий интегральную схему TESLA MAA225 или MAA245 и два мощных транзистора GC511K и GC521K (рис. 73). Условием надежной работы усилителя и наличия запаса мощности возбудителя является коэффициент усиления по току мощных тран-

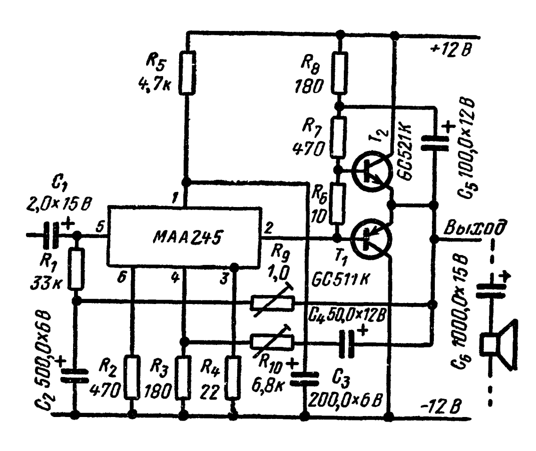


Рис. 73. Схема усилителя с выходной мощностью 2 Вт.

зисторов, превышающий 50. В усилителе между каскадами имеется связь по постоянному току, поэтому он имеет очень хорошие параметры (частотный диапазон, температурная стабильность). Рабочая точка всего усилителя устанавливается при помощи цепи отрицательной обратной связи по постоянному току с выхода усилителя на базу первой системы интегральной схемы. Кроме того, в усилителе имеются две обратные связи по переменному току. Одна отрицательная: с выхода усилителя на эмиттер второй системы интегральной схемы. При помощи этой связи регулируется чувствительность всего усилителя.

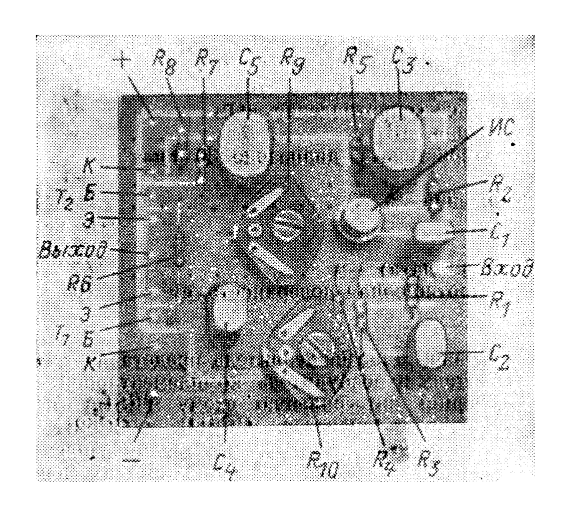


Рис. 74. Усилитель с выходной мощностью 2 Вт — размещение деталей.

Вторая связь положительная: с выхода на делитель напряжения в базовой цепи мощного транзистора *n-p-n*, которая облегчает работу возбудителя.

Максимальное входное напряжение усилителя 10 мВ. Если амплитуда входного сигнала будет больше, что нужно использовать входной делитель напряжения. Такая чувствительность предопределяет использование усилителя прежде всего в качестве низкочастотной части транзисторных приемников. Кроме того, он может быть использован как усилитель с равномерной частотной характеристикой сигналов от различных источников, сопротивление которых менее 10 кОм.

Площадь радиатора, достаточная для охлаждения обоих транзисторов, равна 100 см². Это может быть самостоятельная алюминиевая пластина, или, учитывая изоляцию корпусов транзисторов, в качестве действенного теплоотвода можно использовать металлический корпус всей системы.

Печатная плата предназначена для конструкции с выводами. Если усилитель должен быть сменным модулем, то на край платы приклеивается разъем (рис. 74). А к нему подключаются выводы усилителя. Учитывая большое усиление по току, нужно обратить особое внимание на выбор заземляющих проводов (рис. П-17).

Усилитель настраивается при помощи осциллографа и сигнала с частотой 1 кГц. Потенциометром R_9 устанавливается такая рабочая точка, чтобы при перегрузке усилителя происходило симметричное ограничение сигнала. Если наладка производится без приборов, только с помощью вольтметра, то на выходе усилителя потенциометром R_9 устанавливается напряжение, равное половине напряжения источника питания. Усилитель, имеющий указанные на рис. 74 элементы, может работать и с источником питания 9 В, однако мощность будет меньше. Измеряется потребляемый от источника ток, который при полном возбуждении (мощность 2 Вт) составляет 300 мА.

В усилителе нет стабилизации оконечных транзисторов при помощи термистора, так как оказалось, что в условиях обычных температур в этом нет необходимости. В экстремальных случаях (усилитель подвергается солнечному облучению) резистор R_6 заменяется термистором, имеющим такое же сопротивление. Если появятся искажения, то сопротивление резистора R_6 увеличивается так, чтобы они исчезли. Наблюдения производятся при помощи осциллографа.

99. УСИЛИТЕЛЬ С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 4 Вт

Технические данные

Напряжение питания, В	15
Максимальный потребляемый ток, мА	450
Максимальная выходная мощность, Вт	4
Максимальное выходное напряжение, мВ	4
Оптимальное сопротивление нагрузки, Ом	4
Максимальное входное напряжение, мВ	100
Минимальное входное сопротивление, кОм	100
Регулировка усиления, дБ	20
Частотная характеристика в диапазоне 30 Гц—15 кГц, дБ	±1
Нелинейные искажения, %	Менее 2 при полной мощности
Размеры (основная плата), см	7×7
Минимальная теплоотводящая поверхность, см^2	100—200

Принцип действия. Этот усилитель включает в себя интегральную схему TESLA MAA435. Так как интегральная схема не содержит никаких сопротивлений, то при помощи внешних элементов можно добиться самых выгодных с точки зрения собственных шумов условий работы. Предварительный усилитель двухкаскадный с непосредственной связью, за ним следует каскад возбудителя (с емкостной связью) комплементарной пары мощных транзисторов GD607 и GD617. Возбудитель и мощные транзисторы составляют связанный по постоянному току элемент. Рабочая точка возбудителя устанав-

ливается при помощи отрицательной обратной связи по постоянному току с эмиттера второй системы ИС на базу первой системы.

С коллектора второй системы на эмиттер первой подана обратная связь по переменному току, определяющая усиление предварительного усилителя. Возбудитель и усилитель мощности стабилизированы при помощи отрицательной обратной связи с выхода усилителя на базу возбудителя (на базу третьей системы ИС), которая оказывает влияние как на постоянную, так и на переменную составляющие, т. е. стабилизирует как рабочую точку, так и усиление усилителя. Кроме того, для облегчения работы возбудителя используется положительная обратная связь (рис. 75).

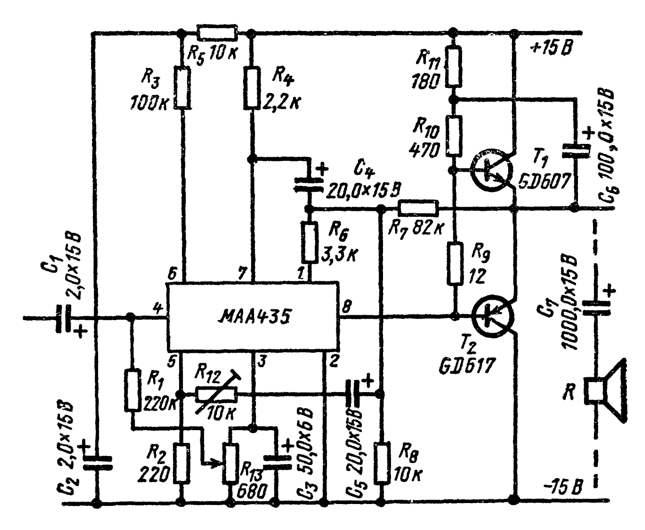


Рис. 75. Схема усилителя с выходной мощностью 4 Вт.

Минимальная чувствительность всего усилителя 10 мВ. Большее входное напряжение не рекомендуется, так как увеличиваются искажения. Максимальная чувствительность усилителя зависит от стабильности всего усилителя и может быть лучше 1 мВ при входном сопротивлении больше 100 кОм и полной мощности. Усилитель может быть использован как усилитель малых сигналов, так как указанная интегральная схема имеет низкий уровень шумов. При наличии связи при помощи компенсированного делителя усилитель можно использовать и для проигрывателя с пьезоэлектрическим звукоснимателем. Он может быть также использован в качестве усилителя в стационарном радиовещательном приемнике (тьюнере), для которого мощности 4 Вт на один канал вполне достаточно для небольшого помещения, или в автомобильном радиоприемнике. При напряжении 12—14 В, которое соответствует обычному напряжению аккумуляторной батареи автомобиля, нельзя получить мощность больше 3 Вт и искажения ниже 2%.

Для усилителя достаточна теплоотводящая поверхность от 100 до 200 см² в зависимости от ее исполнения. Если усилитель работает при повышенной температуре, то радиатор нужно анодировать, а транзисторы снабдить изолирующими прокладками из слюды. Более выгодным решением является использование металлического корпуса для всей системы, который одновременно служит и в качестве теплоотводящей поверхности. Конструкция платы усилителя (печатную схему см. рис. П-18) не предполагает использование разъема, так как здесь имеет место значительное усиление сигнала; близкое же расположение входных и выходных проводников могло бы вызвать нежелательную генерацию усилителя. В качестве входного про-

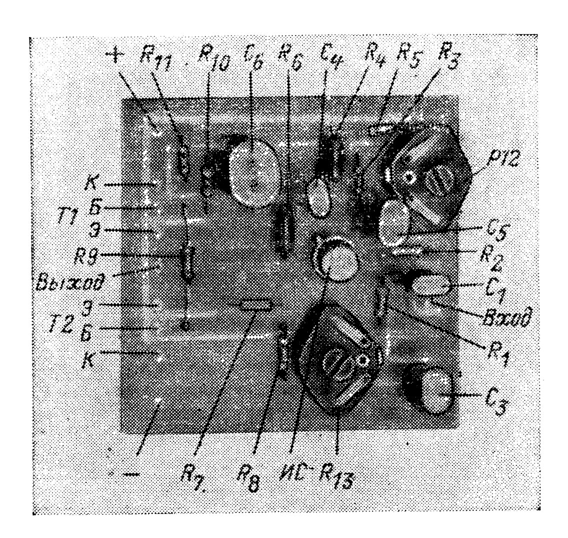


Рис. 76. Усилитель с выходной мощностью 4 Вт — размещение деталей.

вода нужно использовать экранированный проводник, это вызвано сравнительно большим входным сопротивлением усилителя (рис. 76 и П-18).

Наладку усилителя лучше всего производить при помощи осциллографа. В этом случае установка рабочей точки предварительного усилителя и мощной части производится отдельно, сигнал с частотой 1 кГц снимается с коллектора второй системы, рабочая точка предварительного усилителя устанавливается потенциометром R_2, лучше всего по симметричному ограничению сигнала. Рабочая точка мощной части определяется делителем, который составляют резисторы R_7 и R_8. Изменяя сопротивление резистора R_7, выбираем рабочую точку так, чтобы обе полуволны синусоидального сигнала ограничивались одновременно. Не рекомендуется использовать установочные потенциометры, которые отличаются нестабильностью во времени, что могло бы привести к выходу из строя мощных

транзисторов. Чувствительность усилителя устанавливается при помощи установочного потенциометра R_{12}. Наладка усилителей такого типа при помощи вольтметра проблематична; если нет возможности использовать необходимые приборы, то рабочая точка устанавливается так, чтобы напряжение, измеряемое между коллектором второй системы и эмиттером этой системы, было равно напряжению того же коллектора по отношению к плюсу источника. Рабочая точка мощной части устанавливается так, чтобы напряжение на выходе усилителя было равно половине напряжения питания. Потребляемый ток усилителя при полной мощности не должен превышать 450 мА.

В усилителе не используется термисторная стабилизация в оконечном каскаде, потому что расчет цепи с термистором в значительной мере зависит от выполнения радиатора мощных транзисторов. И для того чтобы эта цепь не являлась источником искажений, необходимо произвести целый ряд измерений. Если во время испытаний усилителя появятся искажения при малых уровнях сигнала, то нужно увеличить сопротивление резистора R_9 между базами мощных транзисторов. Наблюдения производятся при помощи осциллографа.

Возможную генерацию на сверхзвуковых частотах можно устранить при помощи цепи Boucherot на выходе усилителя. Ее параметры подбираются индивидуально. Сопротивление цепи, однако, не должно намного превышать сопротивление нагрузки.

Коллекторы мощных транзисторов соединены с их корпусами, поэтому транзисторы нужно изолировать от общего радиатора и быть особенно осторожными при измерениях, чтобы не произошло закорачивание источника.

Питающее устройство, предназначенное для этого усилителя, должно иметь небольшое внутреннее сопротивление. Если используются сухие батареи, то их нужно шунтировать электролитическим конденсатором с емкостью 1000 мкФ на 25 В.

РИСУНКИ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ ДЛЯ МОДУЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

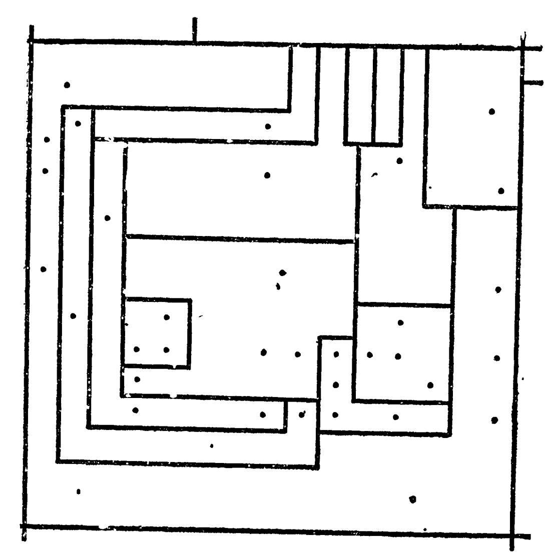


Рис. П-1. Универсальный усилитель I.

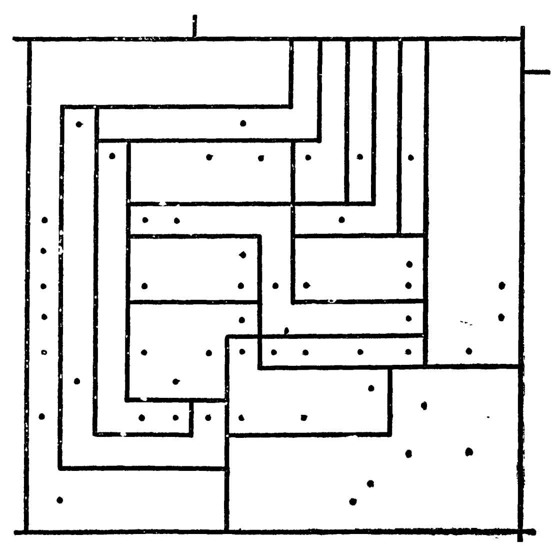


Рис. П-2. Универсальный усилитель II.

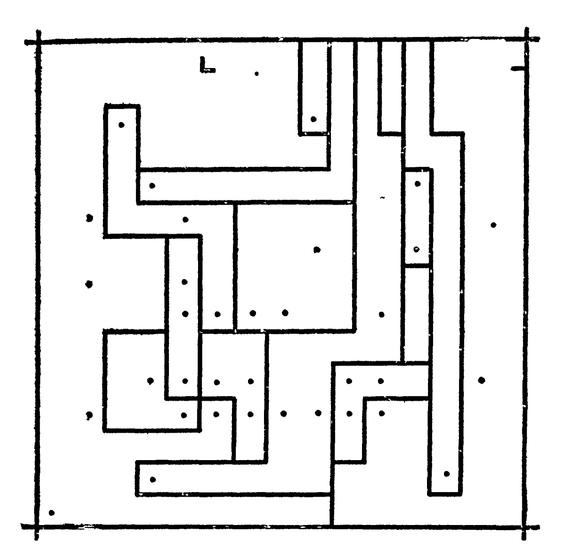


Рис. П-3. Линейный усилитель.

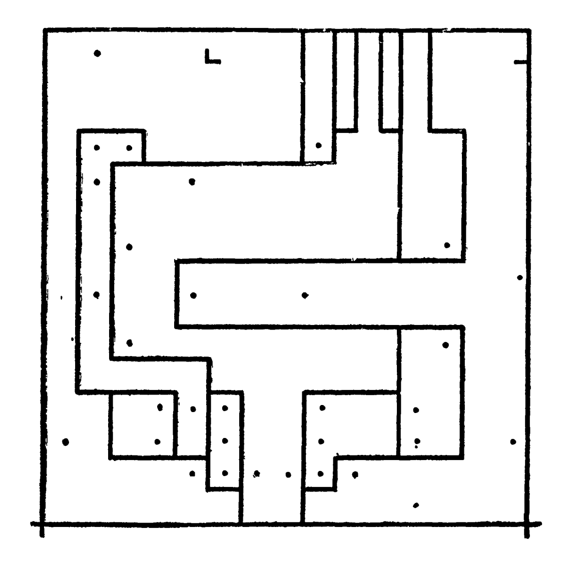


Рис. П-4. Усилитель с выходной мощностью 3 Вт.

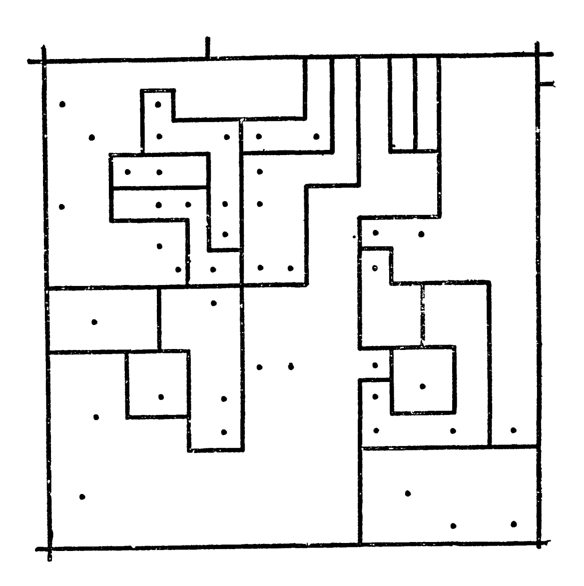


Рис. П-5. Усилитель с выходной мощностью 10 Вт.

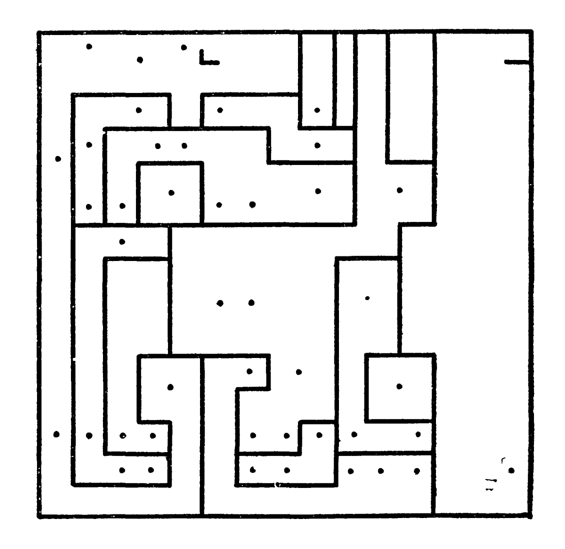


Рис. П-6. Усилитель с выходной мощностью 25 Вт.

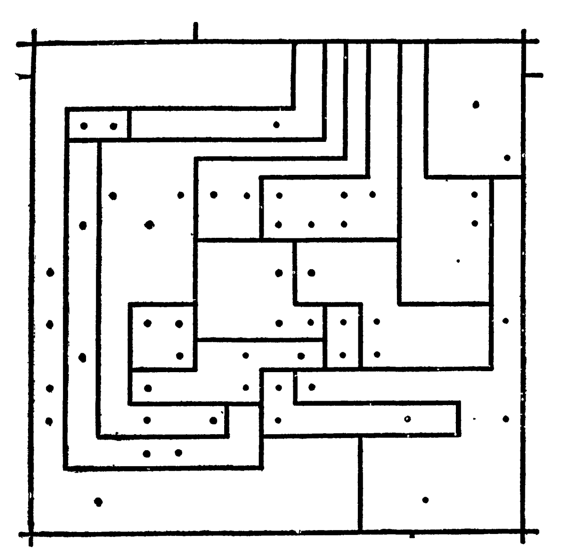


Рис. П-7. Усилитель воспроизведения для магнитофона.

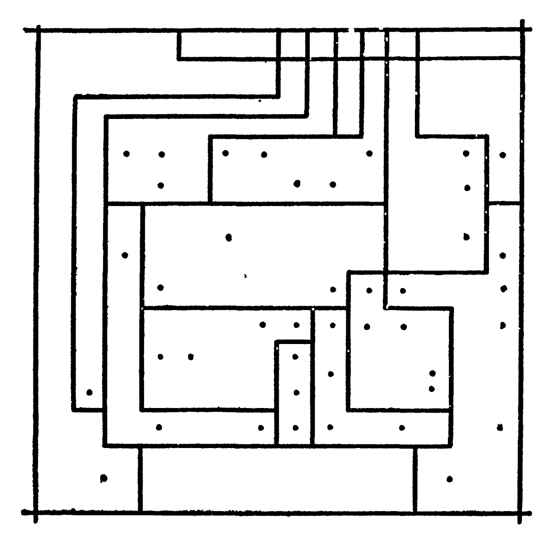


Рис. П-8. Корректирующий усилитель для проигрывателя.

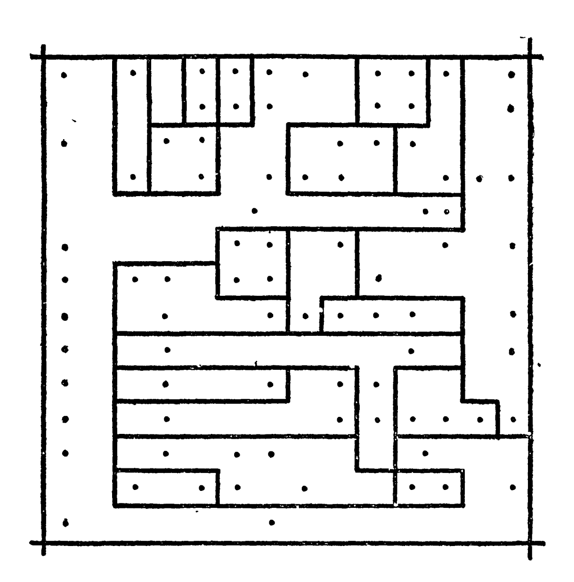


Рис. П-9. Приемник АМ.

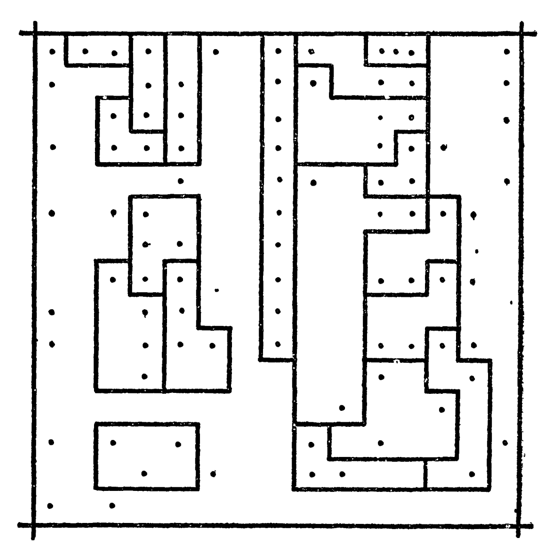


Рис. П-10. Приемник ЧМ.

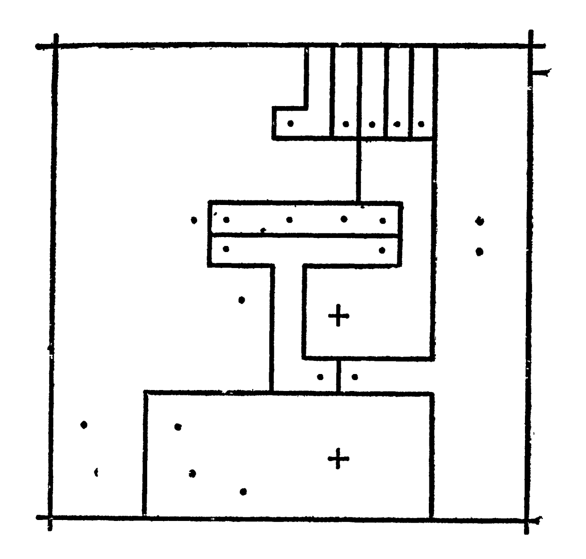


Рис. П-11. Управляющее устройство автоматики.

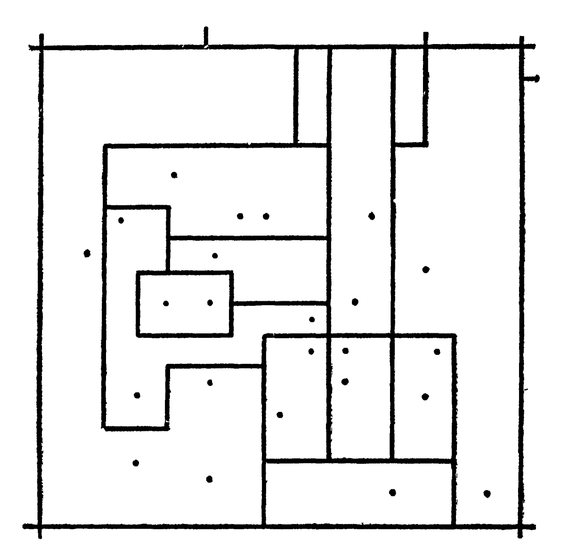


Рис. П-12. Сетевое питающее устройство.

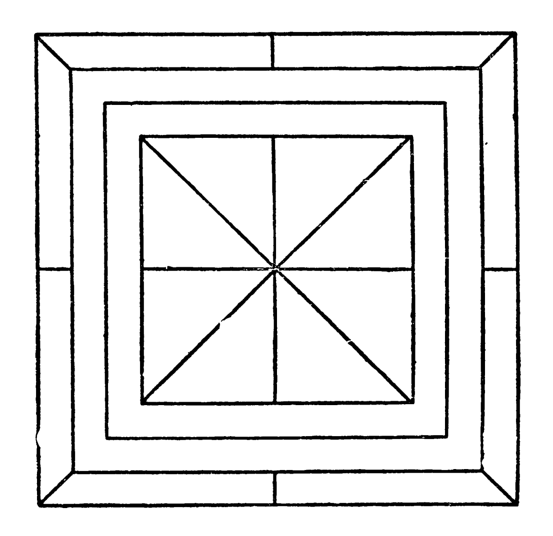


Рис. П-13. Испытательная панель для интегральных схем на печатной плате.

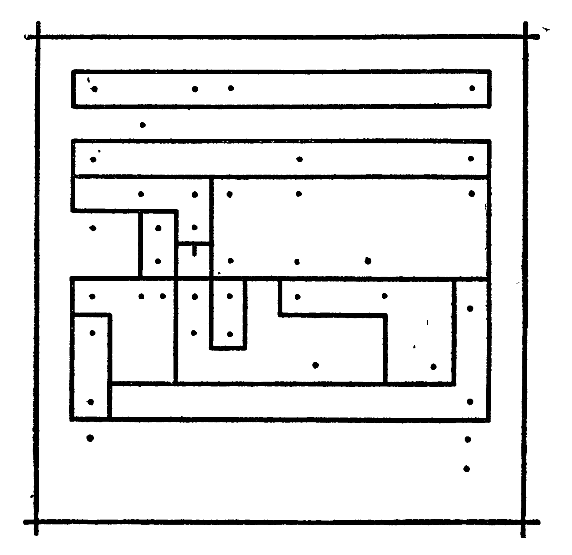


Рис. П-14. Универсальный усилитель с интегральными схемами.

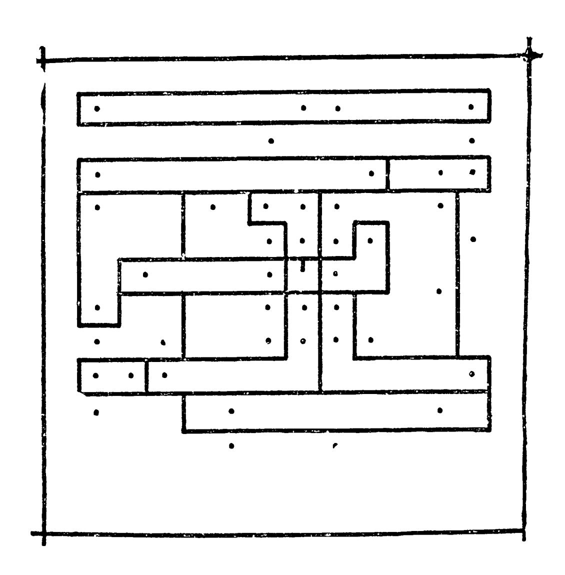


Рис. П-15. Корректирующий усилитель для магнитофона или проигрывателя.

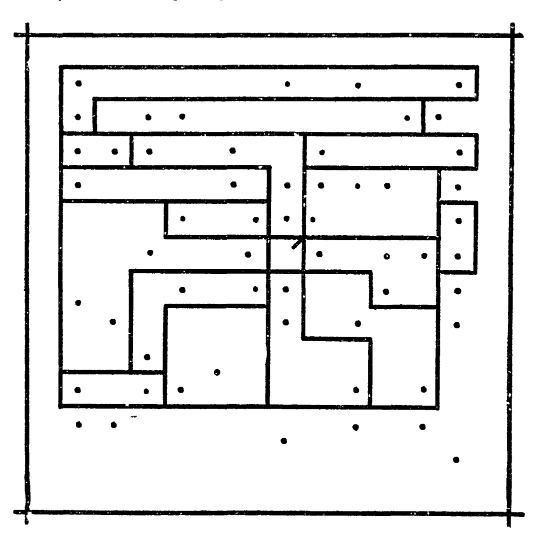


Рис. П-16. Предварительный усилитель для микрофона.

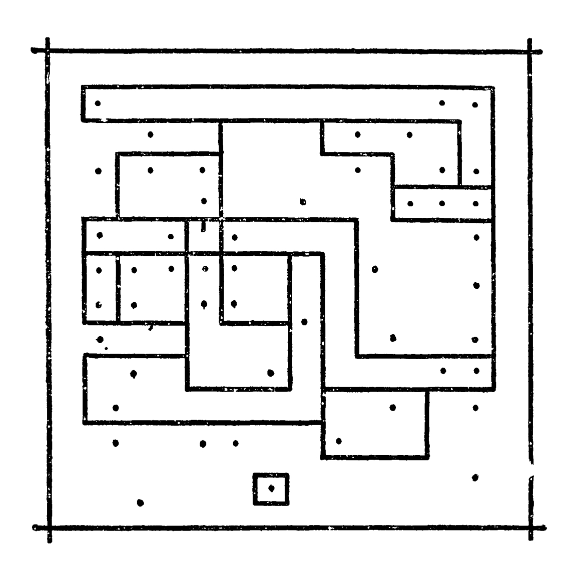


Рис. П-17. Усилитель с выходной мощностью 2 Вт.

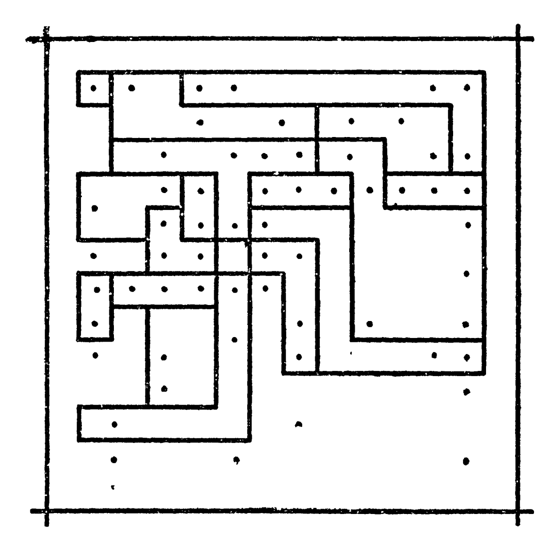


Рис. П-18. Усилитель с выходной мощностью 4 Вт.

ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА

К стр. 15

В каскадах предварительного усиления низкой частоты в устройствах с питанием от 12 В могут применяться кремниевые транзисторы типа КТ301, КТ315А и КТ315Б, КТ325, КТ342В и КТ342Г; германиевые типа МП38 и МП38А, с переменой полярности включения МП40, МП41, ГТ308 и ГТ322.

В устройствах с питанием от 24 В — кремниевые КТ315В и КТ315Г, КТ342А, КТ342Б и КТ342Д; германиевые МП37А и МП37Б, с переменой полярности включения ГТ321, МП20А — МП20В.

В устройствах с питанием от 40 В — кремниевые КТ342Д.

В каскадах усиления промежуточных частот и частотно-преобразовательных каскадах с питанием от 12 В — кремниевые КТ315, КТ347А, КТ342, германиевые ГТ322, ГТ309, ГТ308. В УВЧ и преобразователях блоков УКВ — кремниевые КТ342, германиевые ГТ311, ГТ313, ГТ322.

В каскадах усиления мощности низкой частоты до 0,7 Вт в устройствах с напряжением питания не более 24 В — кремниевые транзисторы КТ603, германиевые ГТ403 и комплементарная пара ГТ402 — ГТ404. Эти же транзисторы целесообразно использовать в предоконечных каскадах для возбуждения транзисторов оконечных каскадов в усилителях с выходной мощностью более 15 Вт.

Для оконечных каскадов с выходной мощностью до 3 Вт можно использовать германиевые транзисторы П601 и П213.

При мощности 10 ВТ — П216, П217, ГТ703, кремниевые КТ807. В усилителях с выходной мощностью 25 Вт и более — кремниевые КТ805, КТ803, КТ802 и германиевые ГТ806, ГТ701, П216Г и П216Д, П217.

К стр. 23

Так как печатные схемы, приведенные в приложении, выполнены в виде прямых линий, то наиболее просто можно их выполнить после перенесения размеров на фольгированный материал, соскабливанием медной фольги с помощью «зуба», изготовленного из ножевочного полотна. В случае желания повторить описанный процесс

эмульсия изготавливается путем распускания пищевой желатины в теплой воде с растворенным в ней бихроматом аммония (10, 100 и 0,5 г соответственно). В качестве центрифуги можно использовать диск проигрывателя (ЭПУ). Проявление после экспонирования производится в теплой воде, где смываются незадубленные светом места желатины. Травление в растворе хлорного железа.

К стр. 26

Универсальный усилитель I может быть выполнен на транзисторах КТ315 или других кремниевых в соответствии с ранее приведенными рекомендациями, без изменения элементов принципиальной схемы. При выполнении на германиевых транзисторах резисторы R_1, R_3, R_{11} должны быть уменьшены до 1,5, 36 и 9,1 кОм соответственно.

К стр. 30

Универсальный усилитель II. То же что и к стр. 26.
При выполнении на германиевых транзисторах $R_1=1{,}5$ кОм, $R_4=$ $=36$ кОм, $R_{11}=9{,}1$ кОм.

К стр. 34

Линейный усилитель может быть выполнен на транзисторах T_1 — МП20, T_2 — КТ315В или КТ315Г, T_3 — ГТ402, T_4 — ГТ404.

Проверить значение напряжения $U_{к.б}$, при котором транзистор пробивается без вывода его из строя, можно, подсоединив к нему регулируемый источник напряжения постоянного тока последовательно с резистором 30—40 кОм. Контроль напряжения осуществляется высокоомным вольтметром между эмиттером и коллектором при закороченных выводах эмиттера и базы. Медленно увеличивая (от нуля) напряжение питания, определяют момент, когда напряжение на транзисторе перестает возрастать — это и будет напряжение пробоя. Если при этом мощность рассеяния на коллекторе далека от допустимой, то пробой обратим и транзистор не выходит из строя. По этой же причине, если нормальное напряжение между коллектором и эмиттером ни при каких условиях работы не превышает допустимого и мощность рассеяния много меньше допустимой, возможно использование транзисторов с максимально допустимым напряжением на коллекторе меньшим, чем напряжение источника питания.

К стр. 37

Усилитель с выходной мощностью 3 Вт целесообразно выполнить по схеме 25-ваттного усилителя, применив в качестве T_1 — КТ315В или КТ315Г, вместо T_2 — МП41, T_3 — МП38А, а вместо T_4 и T_5 — П213Б или П601.

К стр. 41

Усилитель с выходной мощностью 10 Вт целесообразно выполнить с применением в выходном каскаде квазикомплементарной пары транзисторов (такой же, как и в усилителе с выходной мощностью 25 Вт). Для этого в схеме на рис. 25 вместо транзисторов T_3 и T_4 необходимо подсоединить выходной каскад на транзисторах T_2, T_3, T_4, T_5 (рис. 27), оставив без изменения соответствующие номиналы элементов обеих схем. К точкам подсоединения баз транзисторов T_3 и T_4 (рис. 25) подсоединить базы транзисторов T_2 и T_3 (рис. 27). В выходном каскаде транзисторы ГТ703, П216 или П217, возможно применение КТ807 с увеличением сопротивлений резисторов R_9 и R_{10} (рис 27) до 300 Ом.

К стр. 46

В усилителе с выходной мощностью 25 Вт в качестве T_1 — КТ342 или КТ315В, T_2 — ГТ402, T_3 — ГТ404, T_4 и T_5 — ГТ806, ГТ701, П217 или кремниевые КТ805, КТ802 с увеличением R_9 и R_{10} до 120—150 Ом. Остальные детали в соответствии с табл. 10.

К стр 51 (рис. 30)

T_1 — T_3 — КТ315В.

К стр. 57

T_1 — T_3 — КТ315. Для коррекции частотной характеристики в соответствии с рекомендацией МЭК для получения качественного звуковоспроизведения необходимо подобрать R_9, R_{10}, C_6, C_7. Ориентировочные значения этих элементов: 220 и 22 кОм, 0,022 мкФ и 4700 пФ для электромагнитного звукоснимателя. При этих же значениях элементов цепи коррекции пьезоэлектрический звукосниматель должен быть нагружен на резистор с сопротивлением 4,7 кОм, параллельно которому включена последовательная цепь из резистора 1 кОм и конденсатора 0,033 мкФ. Данные элементов коррекции уточняются при проигрывании грампластинок по наиболее естественному качеству воспроизведения.

При выполнении усилителя на германиевых транзисторах необходимо сменить полярность электролитических конденсаторов и источника питания. T_1 — МП36А, остальные МП38, R_3=36 кОм, параллельно C_5 желательно включить стабилитрон на напряжение 10—12 В (например, Д811), увеличив R_7 до 1,5—2 кОм при напряжении питания 24 В.

К стр. 62

Транзисторы типа КТ315 или КТ337, диод Д9Е или Д311, ФПЧ от приемника «Гиала» или «Селга» в сердечниках Ч5 ⌀ 8,8 мм 3×23 витка ЛЭ 5×0,06, C=1000 пФ, C_3=12 пФ (рис. 36).

Входные и гетеродинные контура в простейшем случае от тех же приемников с той же коммутацией. Блок КПЕ желательно применить с воздушным диэлектриком от приемника «Альпинист-403».

Так как описываемый приемник по чувствительности и избирательности предназначен для качественного приема местных радиостанций, применение в нем диапазона КВ нецелесообразно.

К стр. 75

В качестве блока настройки целесообразно использовать блок УКВ от радиоприемника «Океан» или «Рига-103». В последнем случае контур L_1, C_2, C_1 необходимо настроить на частоту 6,8 МГц, а контур L_2, C_5, C_6 на 7,1 МГц. T_1 — ГТ322, T_2 — T_6 — КТ315. $Д_1$ — Д9Е, или Д311.

К стр. 86

Управляющее устройство автоматики. T_1 — МП20Б, T_2 — П213, $Д_1$ — Д226.

К стр. 89

T_1 — ГТ403 или ГТ402, T_2 — П210, П216 или П217. Стабилитроны подбираются в соответствии с рекомендациями в тексте.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИРЖИ СВОБОДА

МОДУЛЬНЫЕ ТРАНЗИСТОРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ И ПРИЕМНИКИ

Редактор *Е. Б. Гумеля*
Редактор издательства *А. А. Цитленко*
Обложка художника *А. А Иванова*
Технический редактор *Г. Г. Самсонова*
Корректор *А. Д. Халанская*

Сдано в набор 22/VIII 1975 г. Подписано к печати 21/IV 1976 г. Формат 84×108[1]/32. Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 7,98. Уч.-изд. л. 9,66. Тираж 110 000 экз. Зак. 286. Цена 49 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли

600610. Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

Цена 49 коп.

